ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

АППАРАТУРА РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ
СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ
ВЫБОР СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ

ОСТ4 Г0.070.003

Редакция 2-72

Издание официальное

1972

УДК 621.396.6:62-71(083.75) Группа Э01

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

АППАРАТУРА РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ

Системы охлаждения. Выбор способа охлаждения

ОСТ4.Г0.070.003
Редакция 2-72

Взамен
ОСТ4 Г0.070.003
Редакция 1-71

Директивным письмом организации от 29 августа 1972 г. № 22-107/9/45 срок введения установлен с 1 июля 1973 г.

б/о

Настоящий стандарт распространяется на выбор способа охлаждения радиоэлектронной аппаратуры, работающей в стационарном тепловом режиме.

Настоящий стандарт устанавливает принципы выбора области применения естественного и принудительного воздушного, принудительного жидкостного, естественного и принудительного испарительного способов охлаждения радиоэлектронной аппаратуры.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ

1.1. Исходные данные:

а) мощность, рассеиваемая блоком или индивидуальным элементом, Q, вт;

б) допустимая температура нагретой зоны $t_{доп.}$, °C;

в) диапазон изменения температуры окружающей среды

$$t_{ос_{min}} - t_{ос_{max}}, °C.$$

1.2. Определяется расчетная поверхность нагретой зоны $S_з$, м^2:

а) для блока при воздушном охлаждении

$$S_з = 2\left[L_1 \cdot L_2 + (L_1 + L_2) \cdot L_3 \cdot K_з\right], \qquad (1)$$

где L_1, L_2 – горизонтальные размеры кожуха блока, м;
L_3 – высота кожуха блока, м;
$K_з$ – коэффициент заполнения;

б) для блока при жидкостном и испарительном охлаждении и для индивидуального элемента при воздушном, жидкостном и испарительном охлаждениях значение величины $S_з$ рассчитывается по геометрическим размерам охлаждаемой поверхности, находящейся в непосредственном контакте с теплоносителем.

1.3. Определяется величина удельной мощности нагретой зоны q, вт/м^2:

$$q = \frac{Q}{S_з}. \qquad (2)$$

1.4. Определяется минимальная величина допустимого перегрева нагретой зоны $\Delta t_{доп}$, °C

$$\Delta t_{доп} = t_{доп} - t_{ос_{max}}. \qquad (3)$$

1.5. По известным значениям q и $\Delta t_{доп}$ осуществляется выбор способа охлаждения соответственно зоне на черт.1, в которой находится точка с координатами q и $\Delta t_{доп}$. Нижняя часть черт.1 относится к блокам, верхняя – к индивидуальным элементам. В случае соответствия данным значениям q и $\Delta t_{доп}$ нескольких способов охлаждения выбирается один из них с использованием технических характеристик систем охлаждения (и их элементов), способ определения которых приведен в дальнейших разделах настоящего стандарта.

2. ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗДУШНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

2.1. Естественное воздушное охлаждение при нормальном атмосферном давлении

2.1.1. По значениям q и $\Delta t_{доп}$, определенным в пп.1.3 и 1.4, находим значение вероятности P обеспечения нормального теплового режима блоков при нормальном атмосферном давлении:

а) блоки с герметичным кожухом и внутренним перемешиванием (массовая скорость воздуха ω = 0–3 кг/м^2 сек) – черт.2;

б) блоки с герметичным кожухом с наружным обдувом (массовая скорость воздуха ω = 0–4 кг/м^2 сек) – черт.3;

в) блоки с перфорированным кожухом – черт.4.

2.1.2. В зависимости от области значений P на черт.2–4:

$P <$ 0,05 – обеспечить нормальный тепловой режим блока практически невозможно;

$0{,}05 \leq P <$ 0,1 – обеспечить нормальный тепловой режим блока удается очень редко;

$0{,}1 \leq P <$ 0,3 – обеспечить нормальный тепловой режим блока возможно, уделив особое внимание вопросам охлаждения даже за счет ухудшения других параметров блока;

$0{,}3 \leq P <$ 0,8 – обеспечить нормальный тепловой режим блока возможно. При этом чем меньше значений P, тем большее внимание следует уделять вопросам охлаждения при конструировании блока;

$P \geq$ 0,8 – обеспечить нормальный тепловой режим блока возможно, причем не следует уделять особое внимание вопросам охлаждения при конструировании блока.

Практически рекомендуется использовать условия охлаждения, соответствующие области $P >$ 0,3.

2.2. Естественное воздушное охлаждение при атмосферном давлении, отличном от нормального

2.2.1. Кроме перечисленных в п.1.1 исходных данных, должны быть известны значения следующих величин:

а) атмосферное давление H_1 вне корпуса блока, мм рт.ст.;

б) атмосферное давление H_2 внутри корпуса блока, мм рт.ст.

2.2.2. Определяется способ естественного охлаждения согласно подразделу 2.1.

2.2.3. Соответственно значениям H_1 и H_2 определяем значения поправочных коэффициентов η при помощи следующих таблиц:

а) блоки герметизированные без наддува $(H_1 = H_2)$ - табл.1;

б) блоки с герметизированным кожухом - табл.2;

в) блоки с перфорированным кожухом - табл.3;

г) блоки с герметичным кожухом с внутренним перемешиванием - табл.4;

д) блоки с герметичным кожухом с наружным обдувом кожуха - табл.5.

2.2.4. Определяется эквивалентное значение удельной мощности нагретой зоны

$$q_1 = q \cdot \eta . \qquad (4)$$

2.2.5. Осуществляется окончательный выбор способа охлаждения при помощи черт.1 согласно подразделу 1.5 с использованием значений q_1 и $\Delta t_{доп}$.

При выборе способа охлаждения следует руководствоваться пп.1.1-1.5, 2.1.

Таблица 3

$H_1 = H_2$, мм рт.ст.	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
η	0,85	1,00	1,07	1,19	1,28	1,36	1,60	1,67	1,76	1,87	2,02	2,17

Таблица 4

ω, $\frac{кг}{м^2 \cdot сек}$	H_1, мм рт.ст.											
	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
	η											
1	0,88	1,00	1,05	1,09	1,13	1,22	1,35	1,41	1,47	1,53	1,61	1,73
2	0,87	1,00	1,07	1,10	1,16	1,25	1,40	1,48	1,54	1,61	1,70	1,83
3	0,85	1,00	1,08	1,12	1,18	1,30	1,48	1,55	1,64	1,72	1,85	2,02
4	0,84	1,00	1,09	1,14	1,21	1,34	1,55	1,65	1,74	1,84	1,96	2,16

Таблица 5

ω, $\frac{кг}{м^2 \cdot сек}$	H_1, мм рт.ст.											
	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
	η											
1,2	0,90	1,00	1,03	1,06	1,10	1,16	1,24	1,28	1,30	1,35	1,37	1,39
3,4	0,89	1,00	1,05	1,09	1,15	1,22	1,32	1,35	1,38	1,45	1,48	1,51

2.3. Примеры выбора способа охлаждения и определения основных технических характеристик естественного воздушного охлаждения приведены в рекомендуемом приложении 3.

3. ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ВОЗДУШНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

3.1. Определение массового расхода воздуха

3.1.1. При помощи графика черт.5, по значениям q и $\Delta t_{доп}$, определенным в пп.1.3 и 1.4, находим величину удельного массового расхода воздуха $\frac{G}{Q}$, $\frac{кг}{сек \cdot квт}$.

При этом черт.5а – для $\Delta t_{доп} \leq 20^{\circ}C$; черт.5б – $20 < \Delta t_{доп} \leq 40^{\circ}C$; черт.5в – $40 < \Delta t_{доп} \leq 60^{\circ}C$.

Рекомендуемая вероятностная оценка:

а) для стационарной РЭА $P > 0{,}5$;

б) для передвижной РЭА $0{,}5 \leq P < 0{,}7$;

в) для бортовой РЭА $0{,}3 \leq P < 0{,}5$.

3.1.2. Определяем величину массового расхода воздуха G, $\frac{кг}{сек}$, по формуле

$$G = \left(\frac{G}{Q}\right) \cdot Q \cdot 10^{-3}, \tag{5}$$

где Q – мощность, рассеиваемая РЭА, $вт$.

3.2. Определение аэродинамического сопротивления блоков, шкафов, стоек РЭА и системы в целом

3.2.1. Величина аэродинамического сопротивления блоков, шкафов, стоек РЭА и системы в целом ΔH, $\frac{н}{м^2}$, определяется при помощи графика черт.6.

Рекомендуемая вероятностная оценка

$$0,4 \leq P < 0,7.$$

Чем выше значение P, тем больше вероятность того, что величина аэродинамического сопротивления реального изделия будет не выше значения, определенного по графику черт.6.

3.3. Определение массы системы охлаждения

3.3.1. При помощи графика черт.7 определяем величину удельной массы системы охлаждения (без воздухоохладителей)

$$\frac{M}{Q} \cdot \frac{кг}{квт}.$$

Рекомендуемая вероятностная оценка:

а) для стационарной РЭА $P > 0,5$;

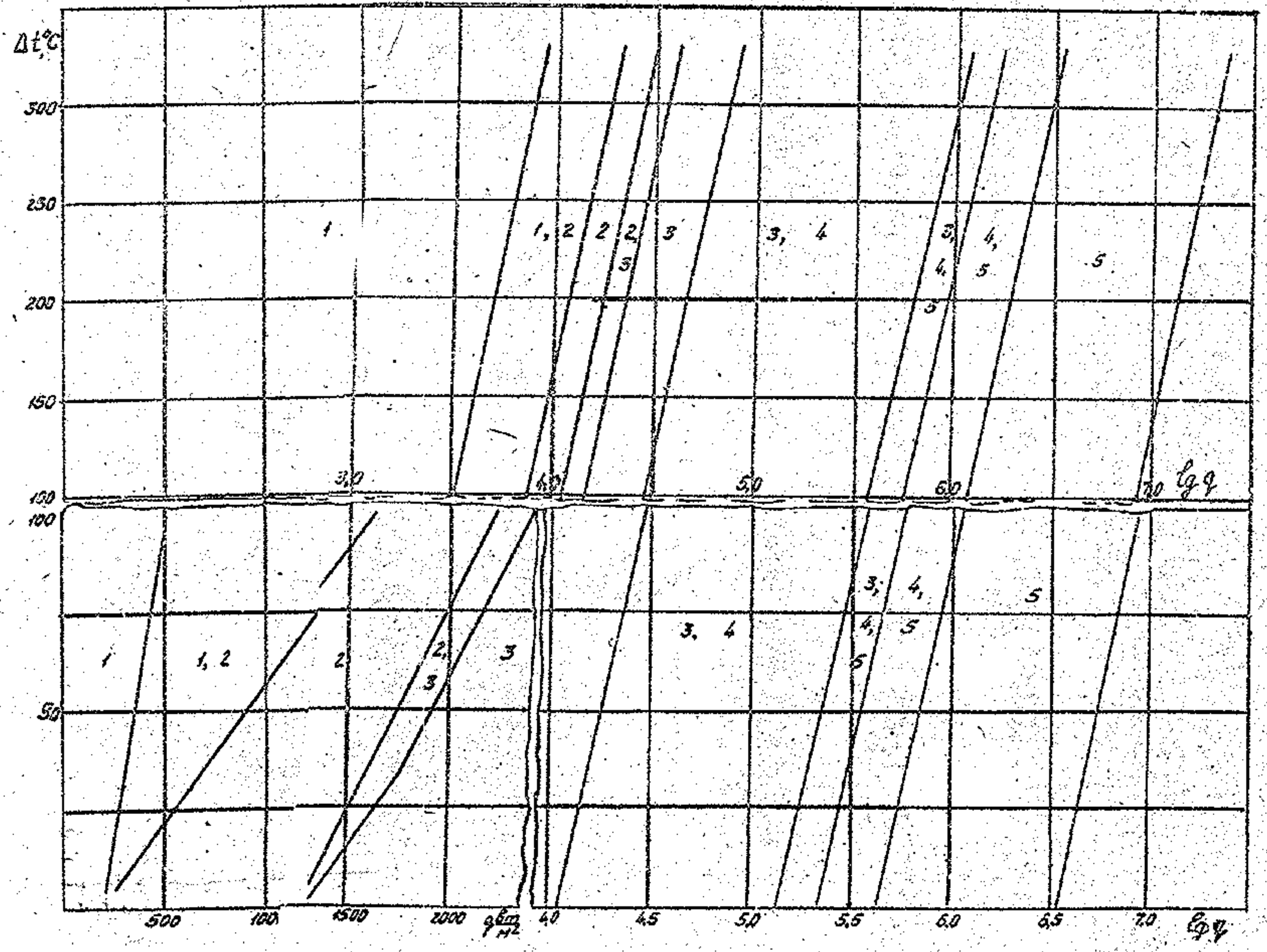
б) для передвижной РЭА $0,5 \leq P < 0,7$;

в) для бортовой РЭА $0,3 \leq P < 0,5$;

г) для РЭА, в которой "приготовление" холодного воздуха осуществляется централизованной системой, масса и потребляемая мощность не учитываются.
$0,3 \leq P < 0,5$.

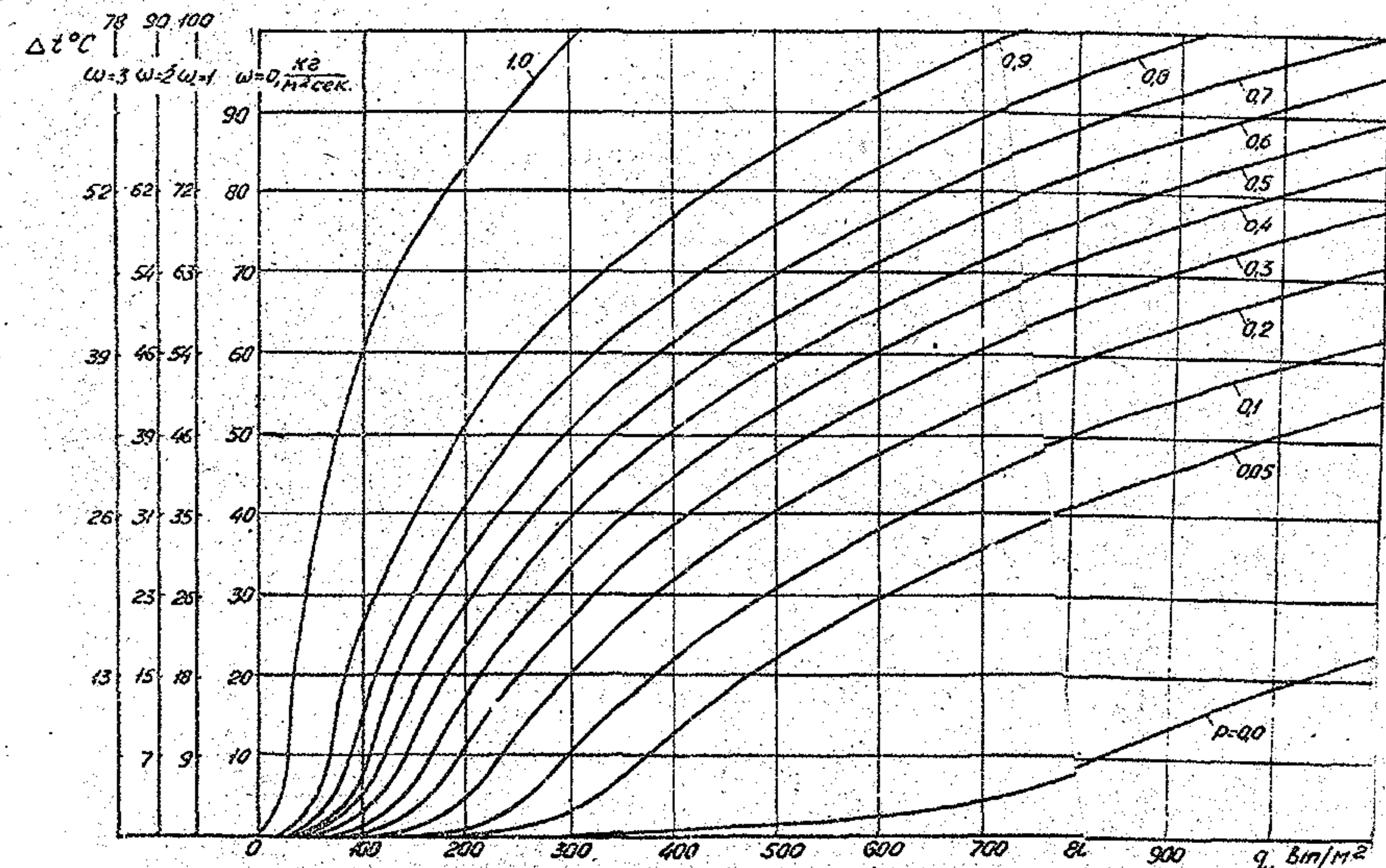
3.3.2. Определяем массу системы охлаждения (без воздухоохладителей) M, $кг$, по формуле

$$M = \left(\frac{M}{Q}\right) \cdot Q \cdot 10^{-3}; \qquad (6)$$

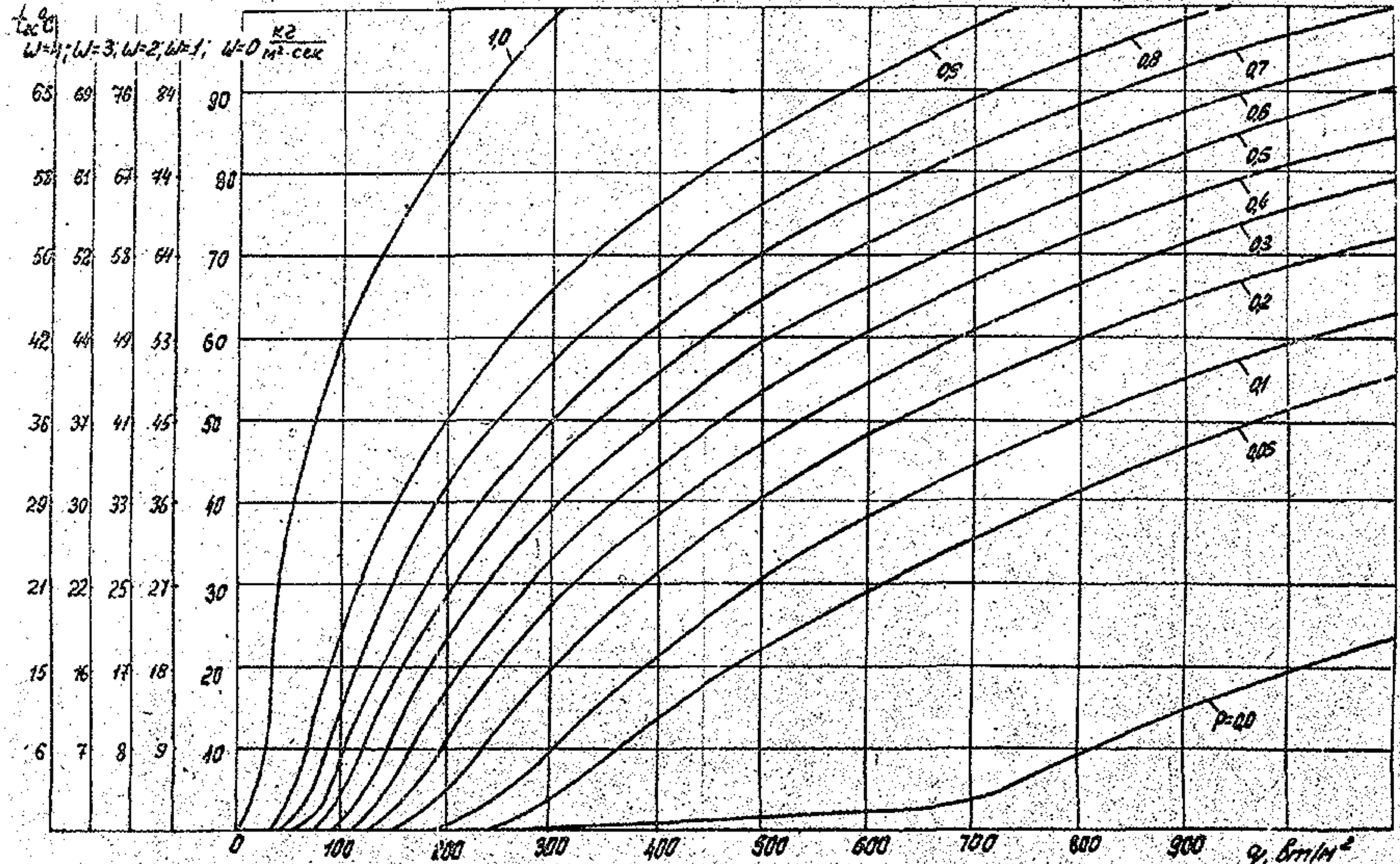


Способы охлаждения: 1 – естественный воздушный; 2 – принудительный воздушный; 3 – принудительный жидкостный; 4 – естественный испарительный; 5 – принудительный испарительный.

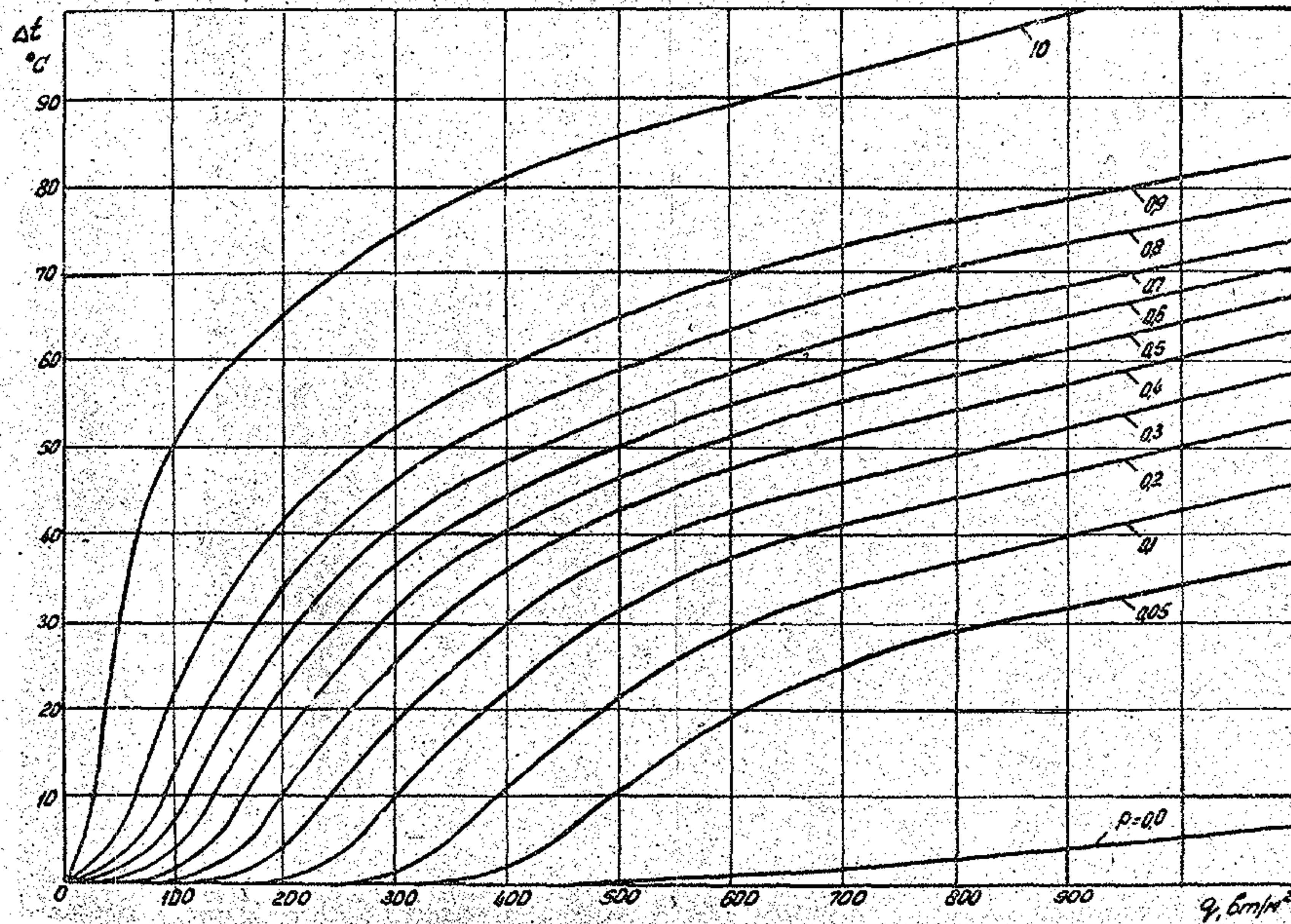
Черт.1

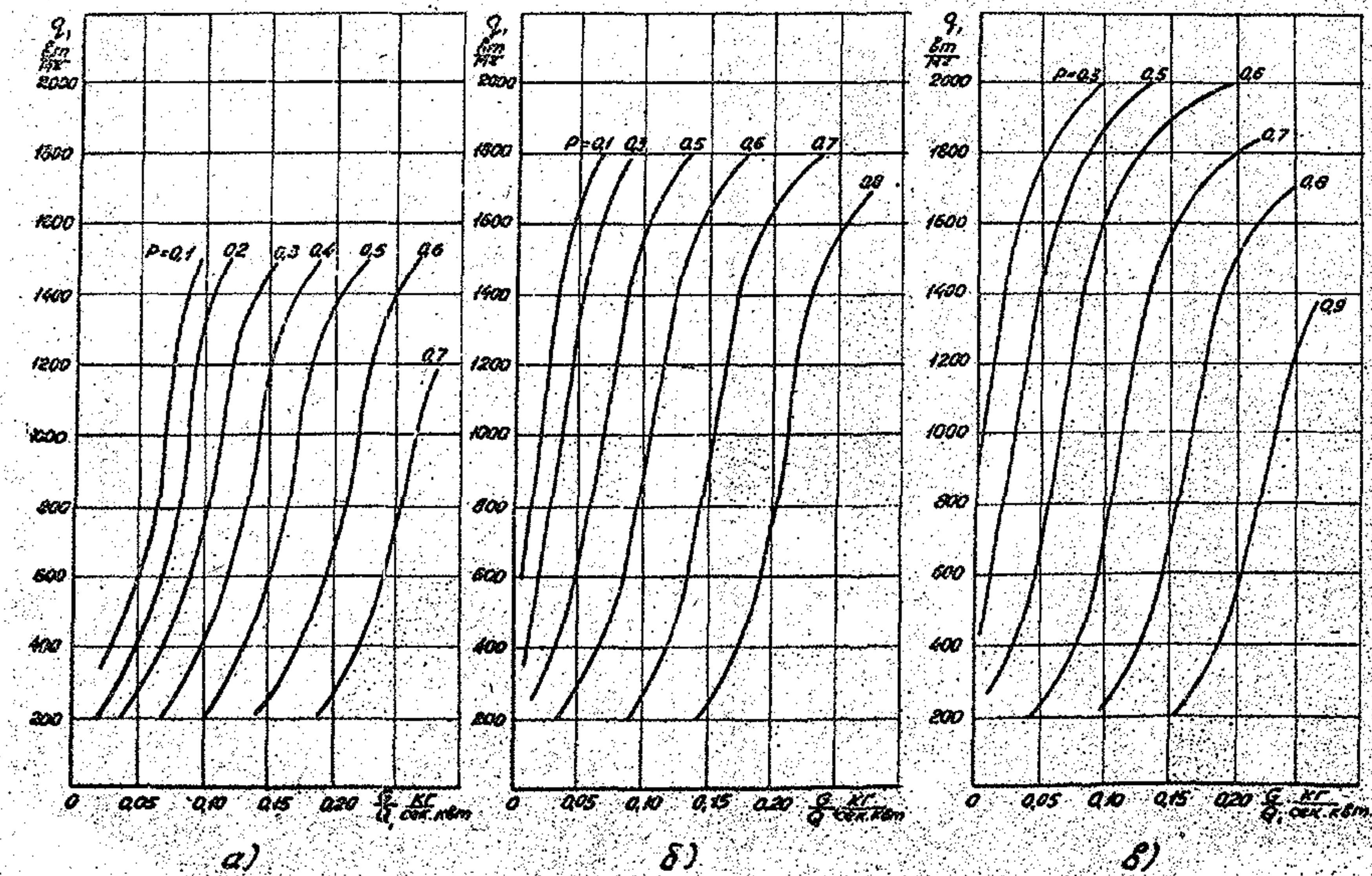


Черт.2


t, °C
W=4; W=3; W=2; W=1; W=0 кг/м²·сек
65 69 76 84 90
58 61 67 74 80
50 52 58 64 70
42 44 49 53 60
36 37 41 45 50
29 30 33 36 40
21 22 25 27 30
15 16 17 18 20
6 7 8 9 10
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
q, Вт/м²
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,05
P=0,0

Черт.8


Δt °C
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
q, вт/м²
10
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,05
p=0,0



а) при $\Delta t_{доп} \leq 20^{\circ}C$; б) при $20 < \Delta t_{доп} \leq 40^{\circ}C$; в) при $40 \leq \Delta t_{доп} < 60^{\circ}C$.

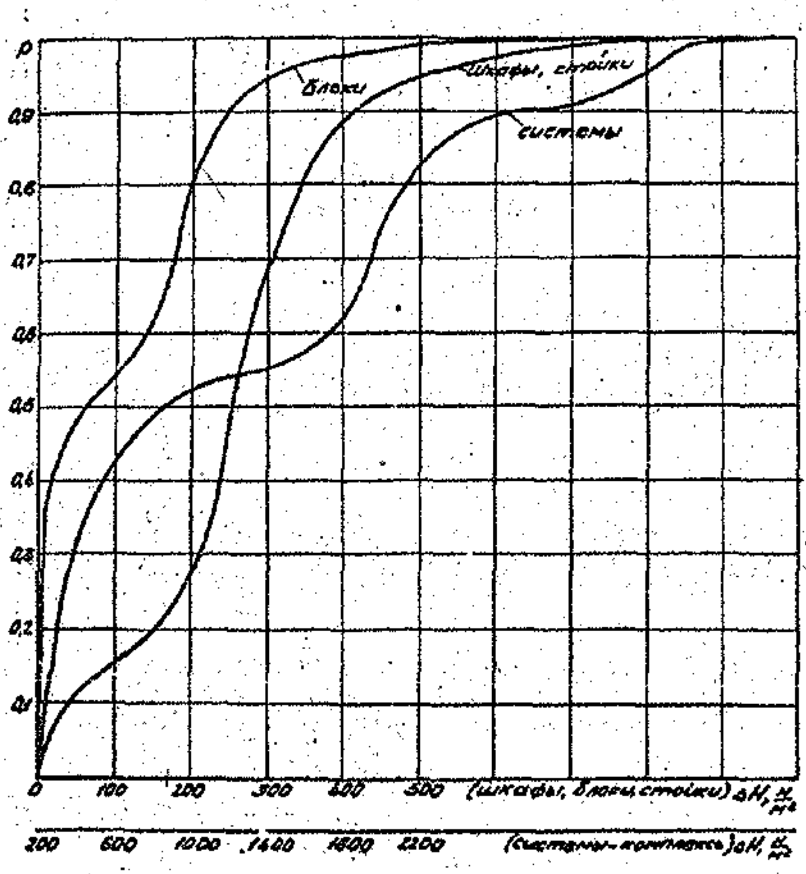
Черт.8

Таблица 1

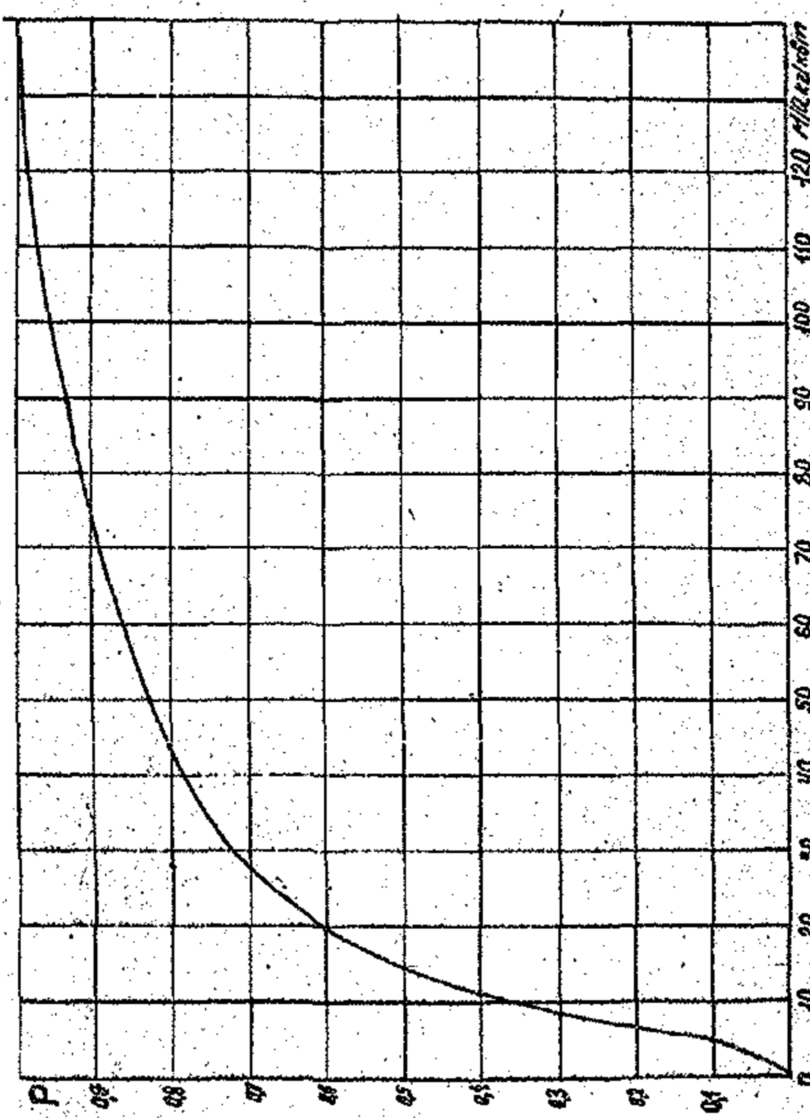
$H_1 = H_2$, мм рт.ст.	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
η	0,89	1,00	1,08	1,12	1,19	1,26	1,35	1,38	1,41	1,44	1,47	1,51

Таблица 2

H_2, мм рт.ст.	H_1, мм рт.ст.											
	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
	η											
1520	0,90	0,92	0,95	0,98	1,00	1,04	1,11	1,14	1,16	1,18	1,21	1,23
760	–	1,00	1,01	1,04	1,07	1,11	1,19	1,22	1,24	1,26	1,29	1,32
560	–	–	1,06	1,10	1,13	1,17	1,25	1,28	1,31	1,33	1,36	1,39
460	–	–	–	1,11	1,15	1,19	1,26	1,29	1,31	1,34	1,36	1,39
200	–	–	–	–	–	1,26	1,32	1,35	1,36	1,39	1,41	1,43
100	–	–	–	–	–	–	1,35	1,38	1,40	1,42	1,45	1,46


P
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
блоки
шкафы, стойки
системы
0
100
200
300
400
500
(шкафы, блоки, стойки)
200
600
1000
1400
1800
2200

Черт.6



Черт.7

3.4. Определение мощности, потребляемой системой охлаждения

3.4.1. При помощи графика черт.8 определяем величину удельной мощности, потребляемой системой охлаждения (без воздухоохладителей).

Рекомендуемая вероятностная оценка в зависимости от типа РЭА определяется согласно п.3.1.1.

3.4.2. Определяем мощность, потребляемую системой охлаждения (без воздухоохладителей) N, $вт$, по формуле

$$N = \left(\frac{N}{Q}\right) \cdot Q\,. \qquad (7)$$

3.5. Определение объема системы охлаждения

3.5.1. Величину удельного объема системы охлаждения (без воздухоохладителей) $\frac{V}{Q}$, $\frac{м^3}{квт}$ определяем:

а) для стационарной РЭА – при помощи графика черт.9;

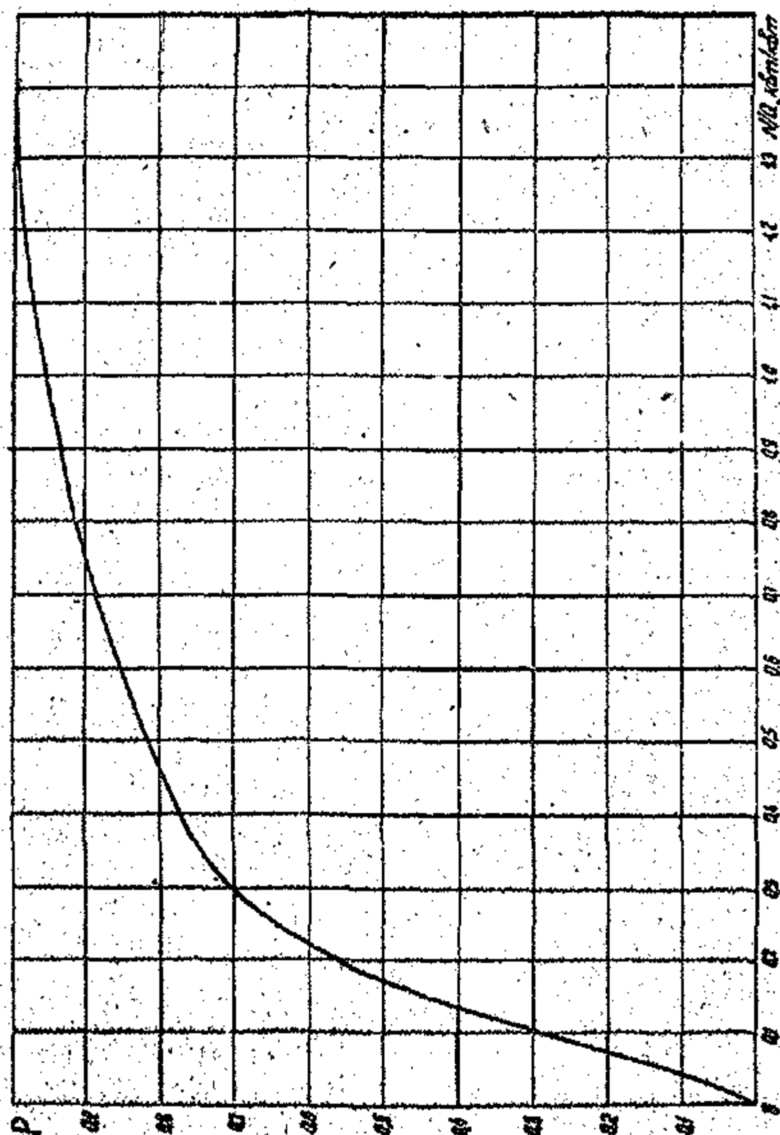
б) для передвижной и бортовой РЭА – при помощи графика черт.10.

Рекомендуемая вероятностная оценка

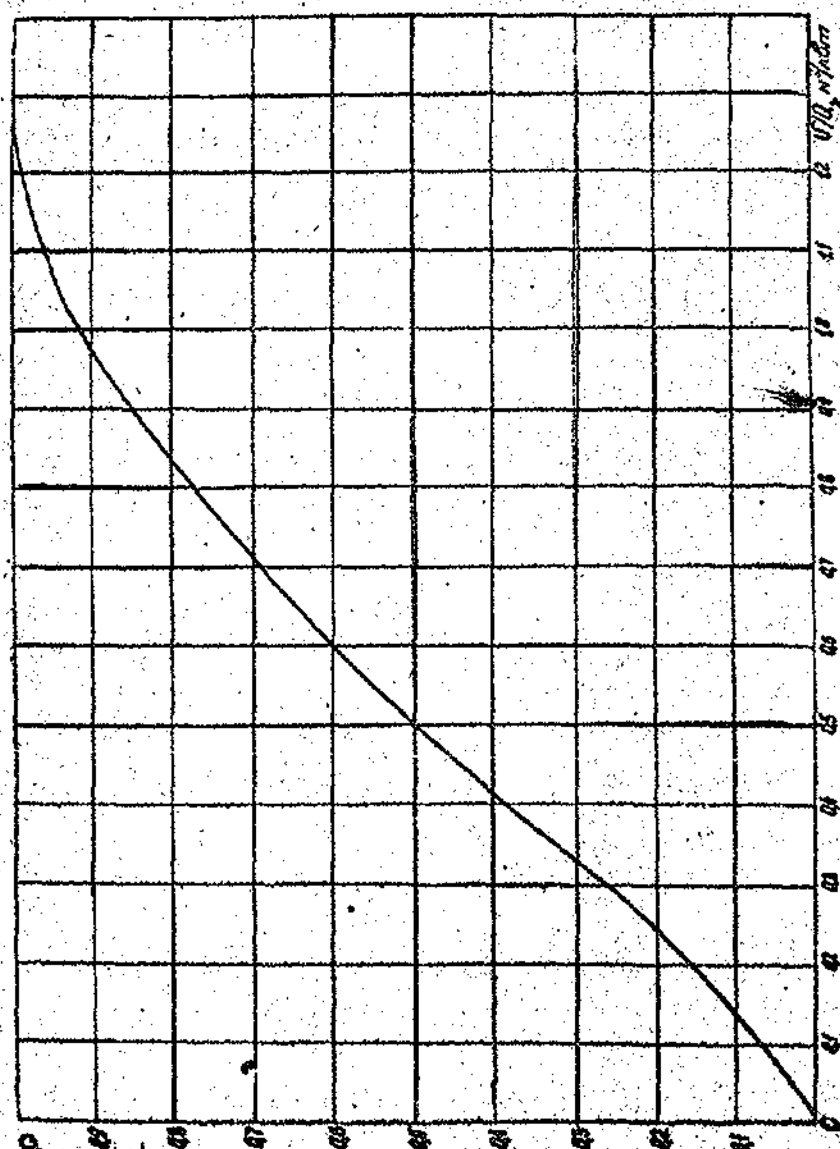
$$0{,}5 \le P < 0{,}7.$$

3.5.2. Определяем объем системы охлаждения (без воздухоохладителей) V, $м^3$, по формуле

$$V = \left(\frac{V}{Q}\right) \cdot Q \cdot 10^{-3}. \qquad (8)$$



Черт.8



Черт.9

Примечание. Масса, потребляемая мощность и объем воздухоохладителей определяются по графикам черт.7, 8 (рекомендуемое приложение 2).

3.6. Определение усредненных технических характеристик ряда элементов систем принудительного воздушного охлаждения производится по формулам и графикам, приведенным в рекомендуемом приложении 2.

3.7. Пример выбора принудительного воздушного способа охлаждения и определения основных технических характеристик системы охлаждения приведен в рекомендуемом приложении 3.

4. ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ЖИДКОСТНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

4.1. Исходные данные:

а) мощность Q, рассеиваемая РЭА, вт;

б) допустимая температура нагретой зоны $t_{доп}$, °С;

в) диапазон изменения температуры окружающей среды

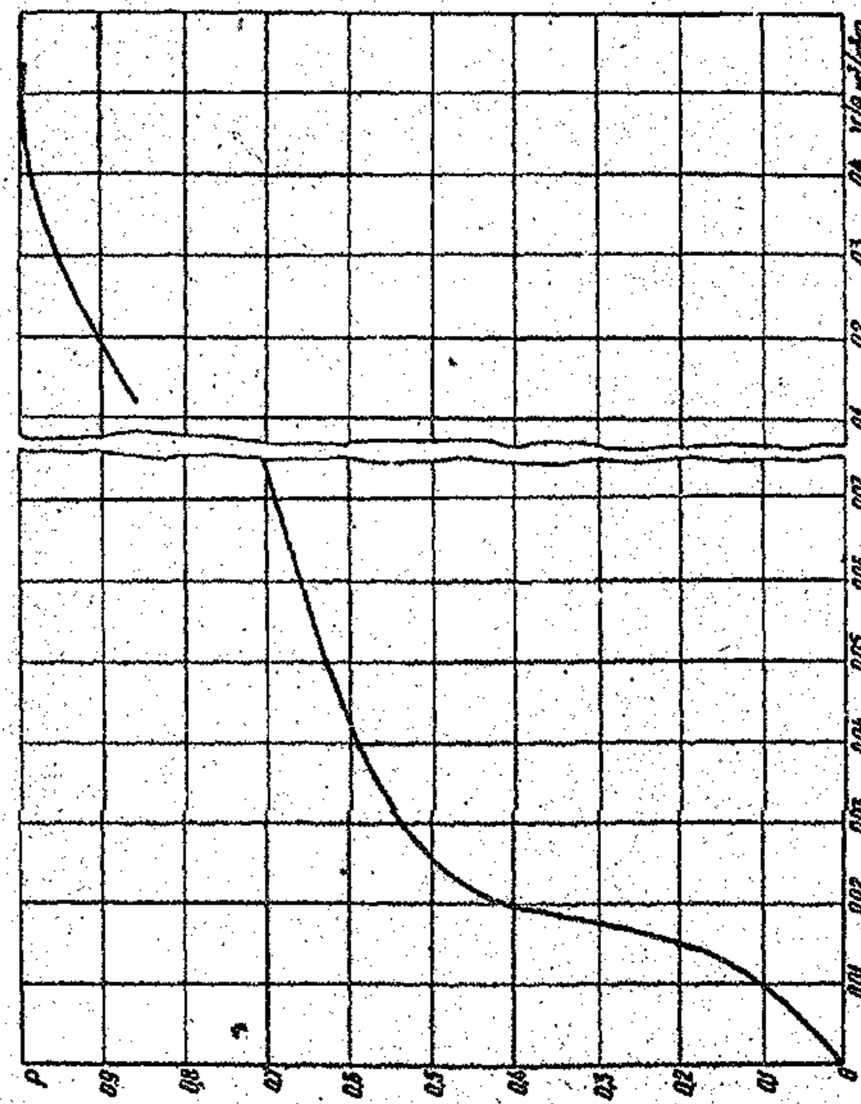
$$t_{oc\,min} - t_{oc\,max},\ °C;$$

г) максимально допустимая величина гидравлического сопротивления РЭА $\Delta H_{доп}$, $\frac{н}{м^2}$;

д) требования к теплоносителю по диэлектрическим и эксплуатационным характеристикам.

4.2. Выбор теплоносителя

4.2.1. Определяется перечень теплоносителей, удовлетворяющих требованиям, изложенным в п.4.1.



Черт.10

4.2.2. Из числа определенных в п.4.2.1 теплоносителей выбираются те, для которых выполняется условие

$$t_{нк} > t_{доп},$$

где $t_{нк}$ – температуры кипения теплоносителей при атмосферном давлении, приведены в табл.6

Таблица 6

Номер теплоносителя	Наименование теплоносителя	$t_{нк}$, °С
1	Вода	100
2	Метиловый спирт	64
3	Этиловый спирт	78
4	Антифриз-65	121
5	Перфтордиметилциклогексиламин	111
6	Перфтордибутиловый эфир	100
7	Перфтортриэтиламин	69
8	11 ФД	130
9	ПМС-10	250
10	ФМ-1322	190

4.2.3. Из числа определенных в п.4.2.2 теплоносителей выбираем тот, который имеет в табл.6 меньший порядковый номер.

4.3. Определение массы системы охлаждения

4.3.1. Определяем минимальную величину допустимого перегрева нагретой зоны

$$\Delta t_{доп} = t_{доп} - t_{ос\,max}.$$

4.3.2. Определяем порядковый номер чертежа для определения величины удельной массы системы охлаждения $\frac{M}{Q}$ при помощи табл.7.

Таблица 7

Номер теплоносителя в табл.6	$\Delta H_{доп}$, $\frac{H}{м^2}$		
	$0-5\cdot10^5$	$5\cdot10^5-10^6$	$10^6-1,5\cdot10^6$
	Номер чертежа		
1	11	15	19
2,3,4	12	16	20
5,6,7,8	13	17	21
9,10	14	18	22

4.3.3. Откладываем значение $\Delta t_{доп}$, полученное в п.4.3.1, на оси Δt чертежа, порядковый номер которого определен в п.4.3.2.

4.3.4. Из полученной точки проводим прямую, параллельную оси ординат, до пересечения с нижней и верхней кривыми на этом графике.

4.3.5. Из полученных точек пересечения проводим прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с осью $\frac{M}{Q}$ и определяем минимальное и максимальное значения удельной массы системы охлаждения

$$\left(\frac{M}{Q}\right)_{min}, \quad \left(\frac{M}{Q}\right)_{max}, \quad \frac{кг}{квт}.$$

4.3.6. Определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения массы системы охлаждения M, кг:

$$M_{min} = \left(\frac{M}{Q}\right)_{min} Q \cdot 10^{-3}; \qquad (9)$$

$$M_{max} = \left(\frac{M}{Q}\right)_{max} Q \cdot 10^{-3}; \qquad (10)$$

$$M_{p} = \frac{M_{min} + M_{max}}{2}. \qquad (11)$$

4.3.7. *При* проектировании систем жидкостного охлаждения массу системы рекомендуется выбирать в пределах:

а) для стационарной РЭА $M_p \leq M < M_{max}$;

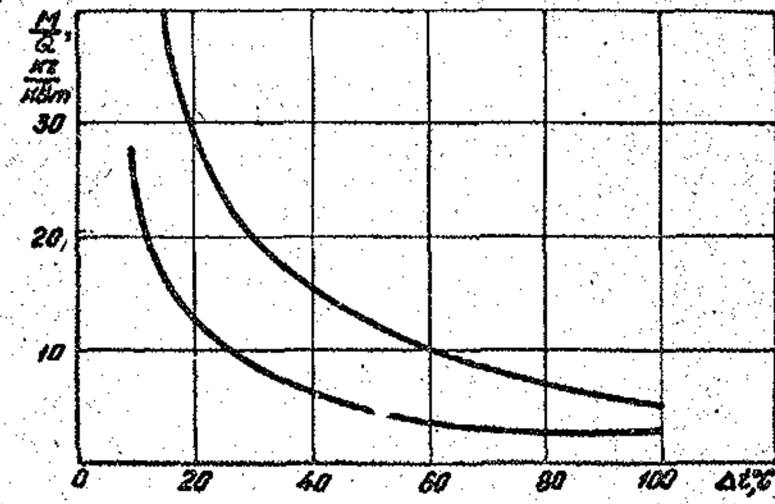
б) для передвижной и бортовой РЭА $M_{min} \leq M < M_p$.

4.4. Определение мощности, потребляемой системой охлаждения

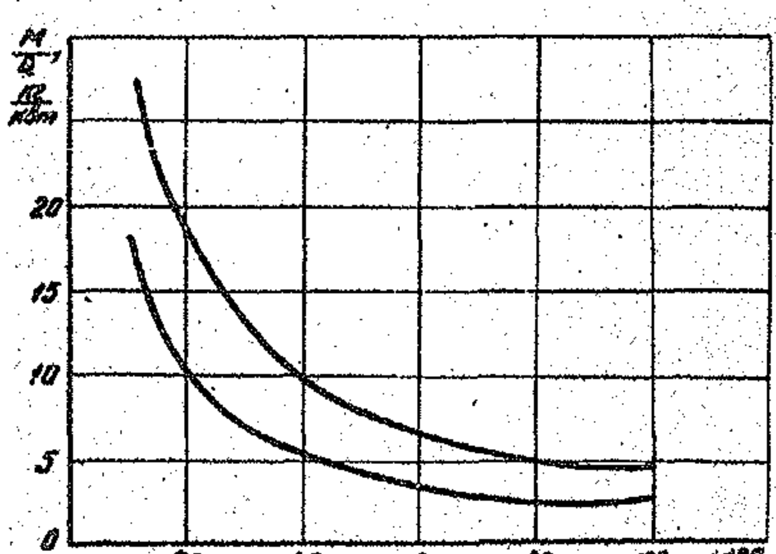
4.4.1. Определяем порядковый номер чертежа для определения величины удельной мощности, потребляемой системой охлаждения $\frac{N}{Q}$, при помощи табл.8.

Таблица 8

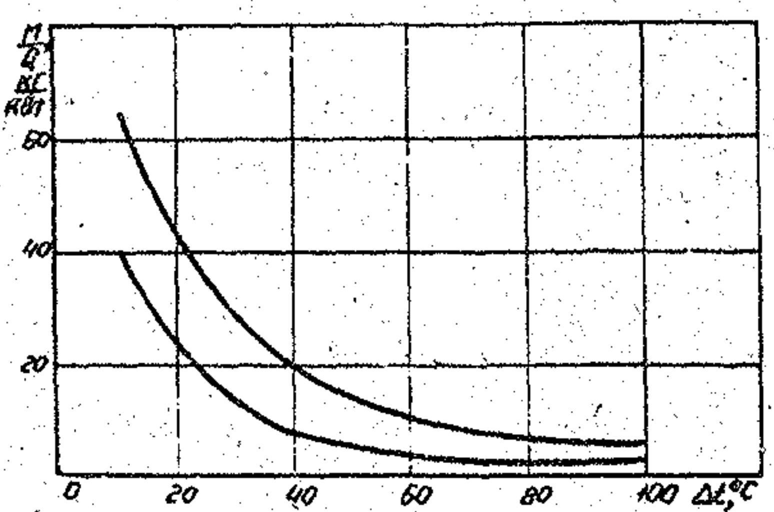
Номер теплоносителя в табл.6	$\Delta H_{доп}$, $\frac{H}{м^2}$		
	$0-5\cdot10^5$	$5\cdot10^5 - 10^6$	$10^6 - 1,5\cdot10^6$
	Номер чертежа		
1	23	27	31
2,3,4	24	28	32
5,6,7,8	25	29	33
9,10	26	30	34



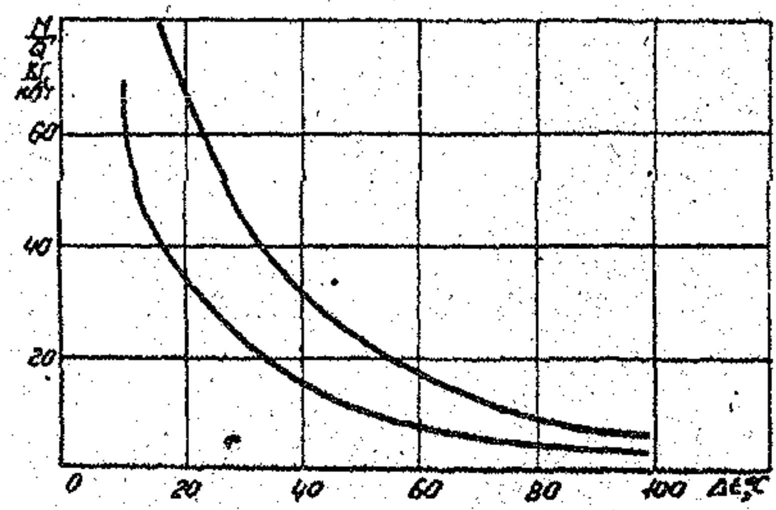
Черт.11



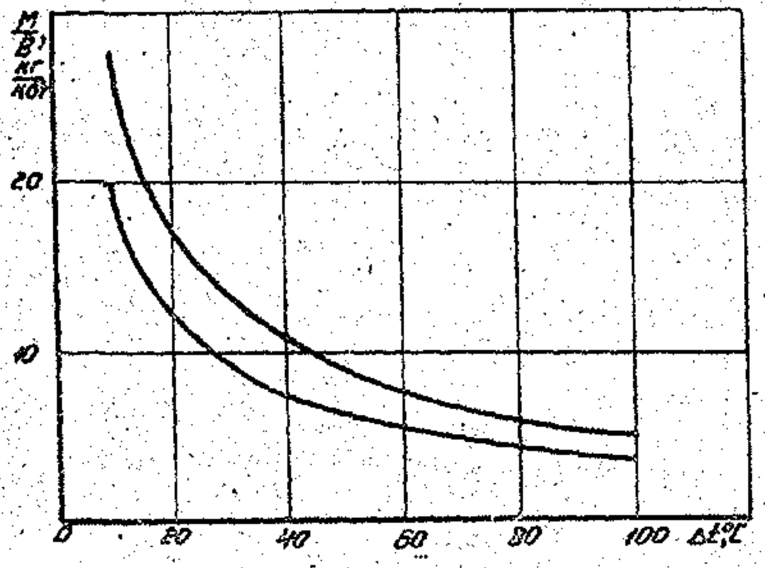
Черт.12



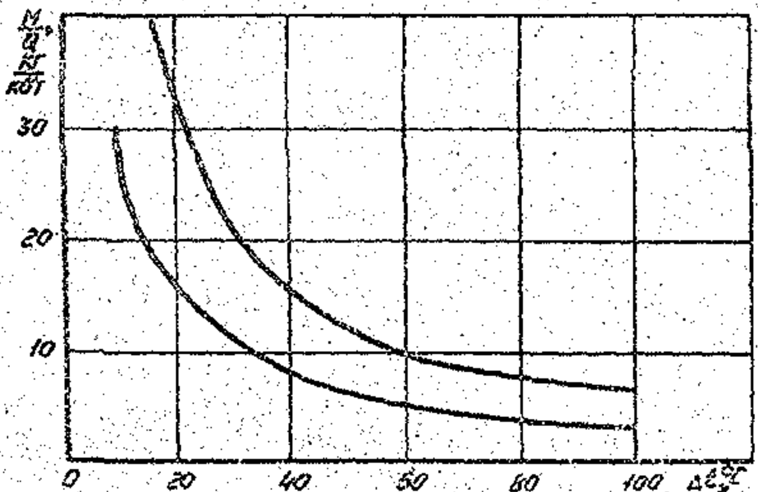
Черт.13



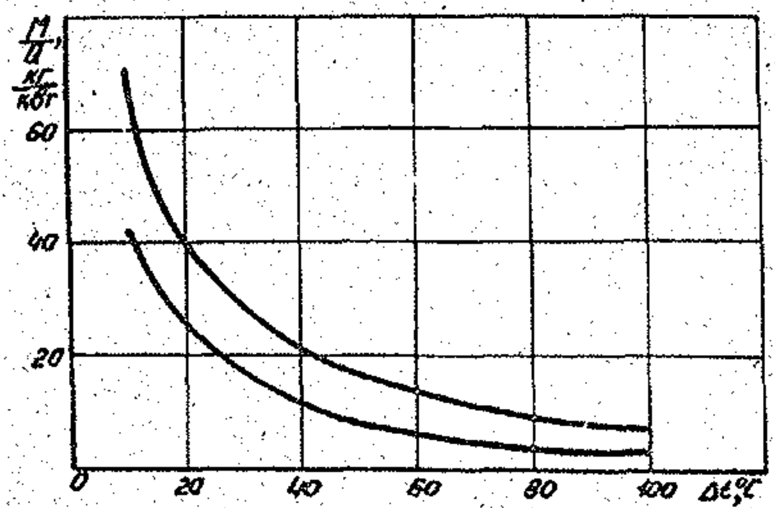
Черт.14



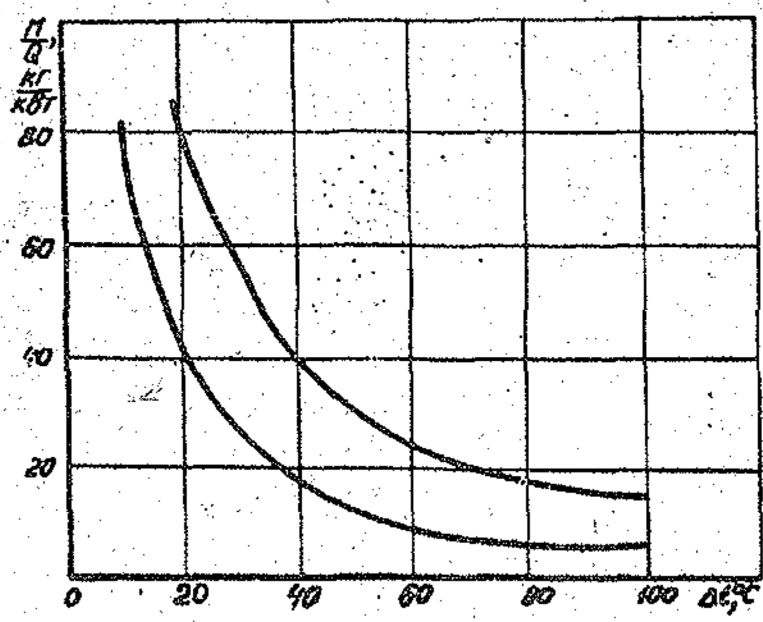
Черт.15



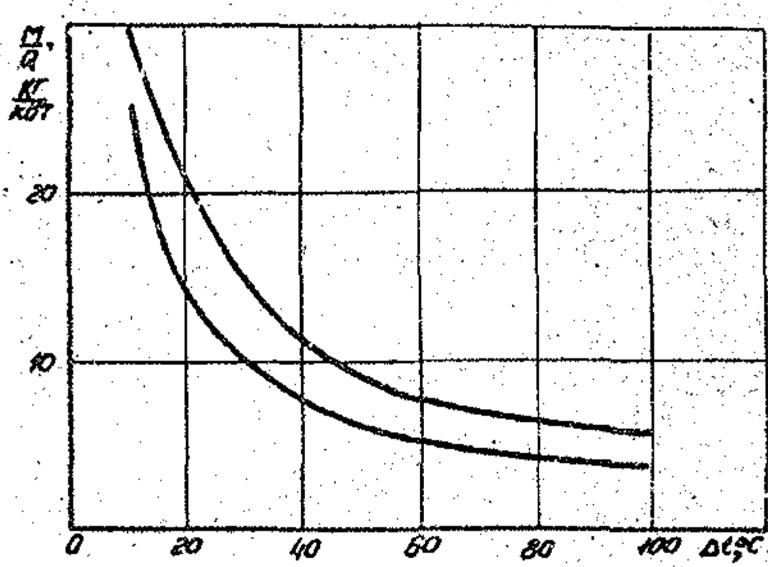
Черт.16



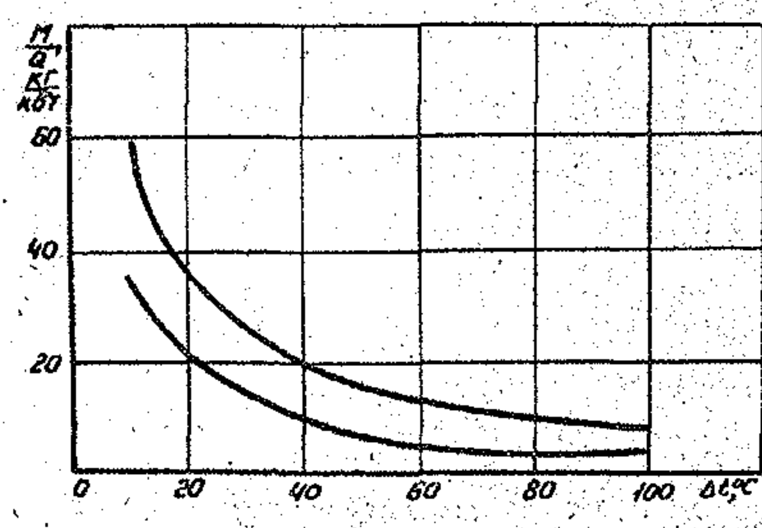
Черт.17



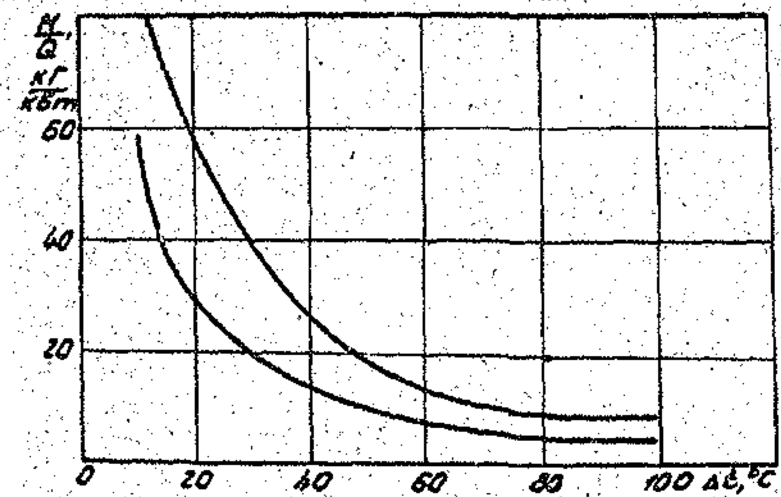
Черт.18



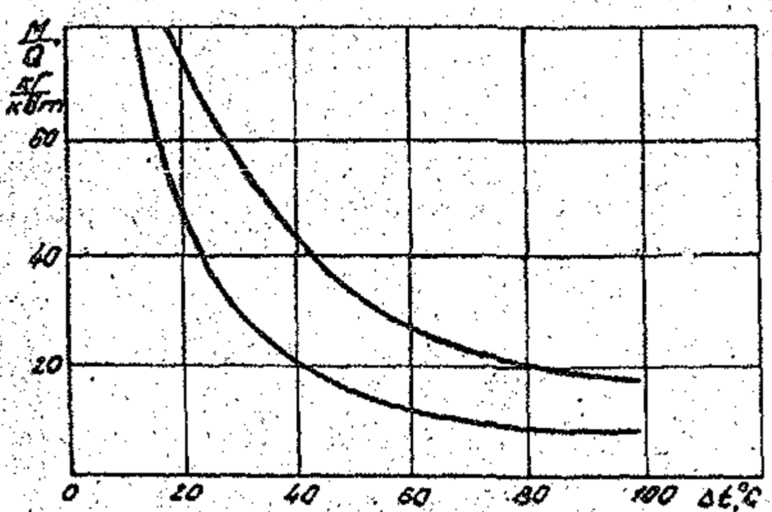
Черт.19



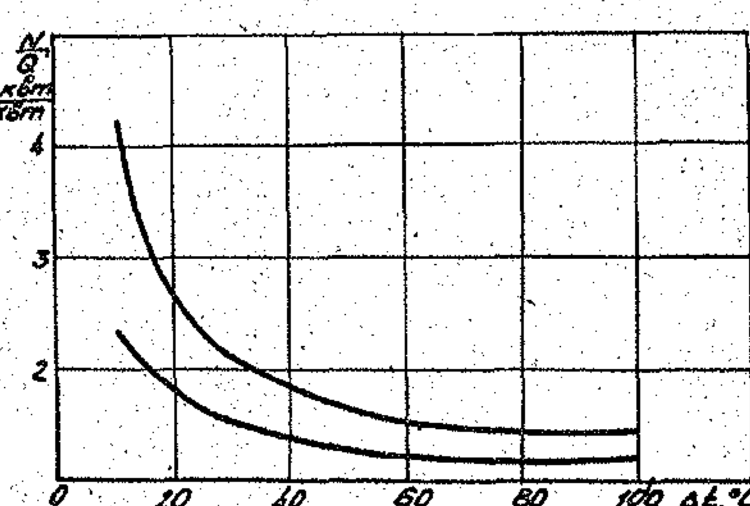
Черт.20



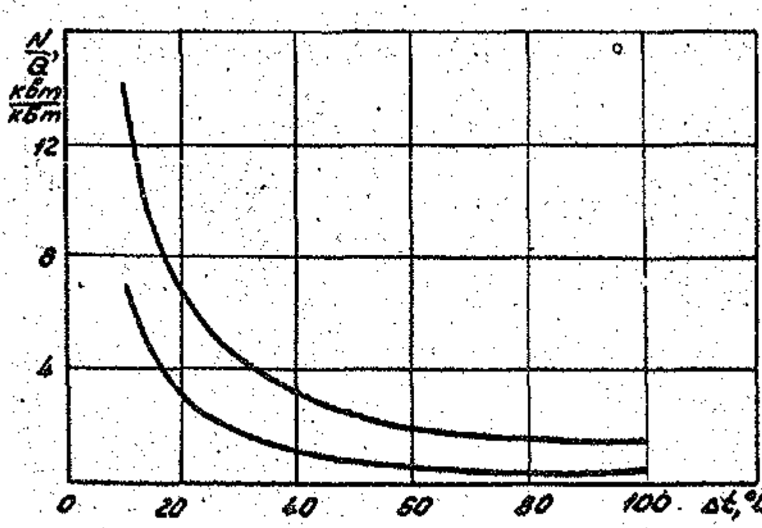
Черт.21



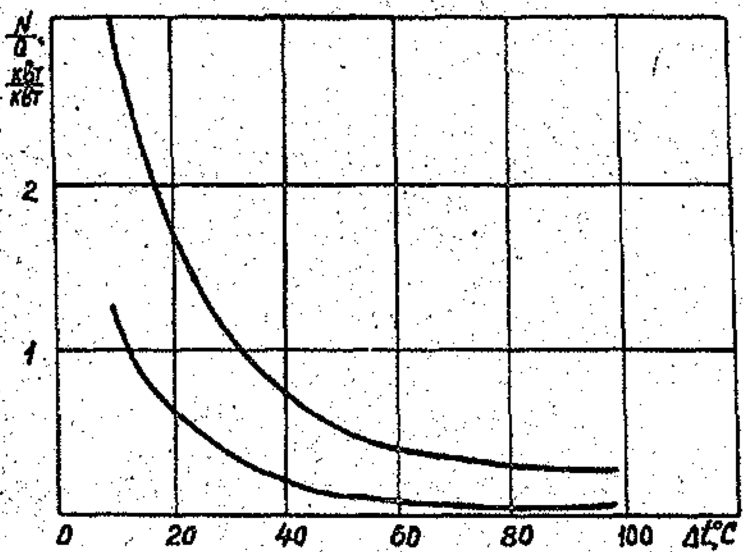
Черт.22



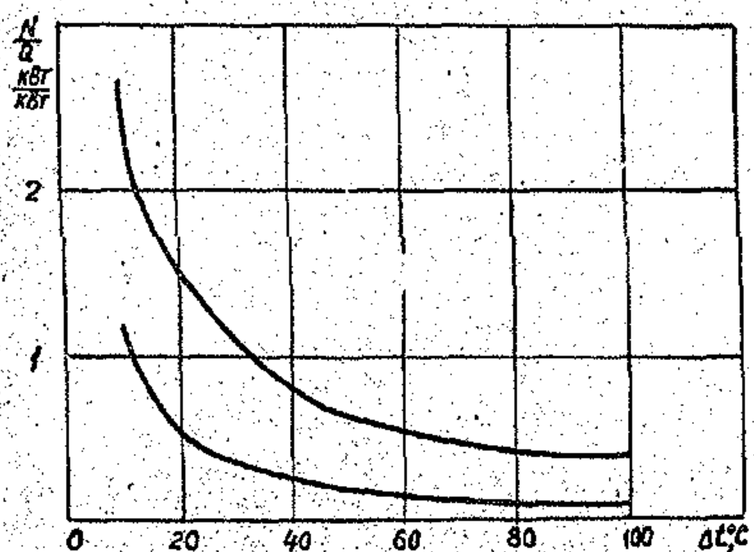
Черт.23



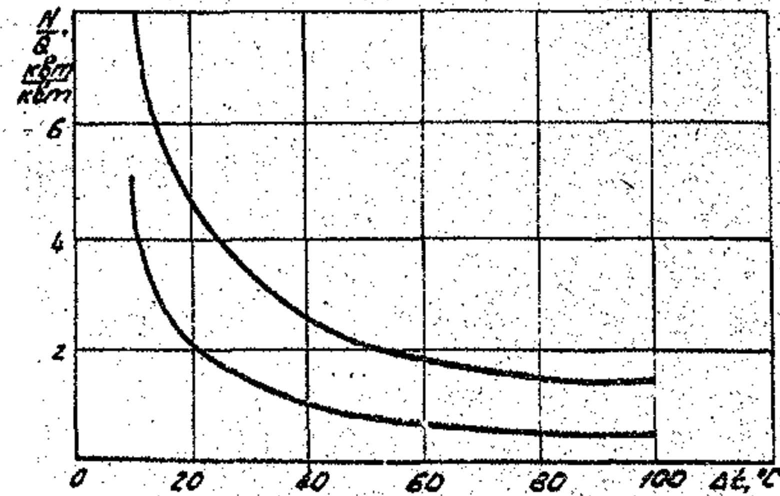
Черт.24



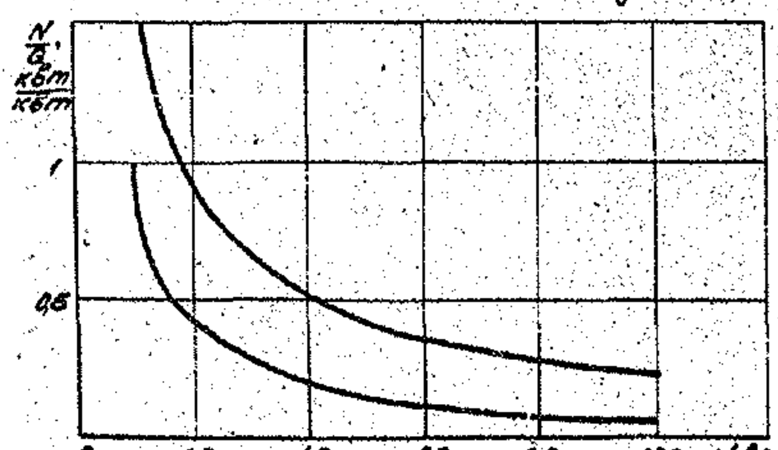
Черт.25



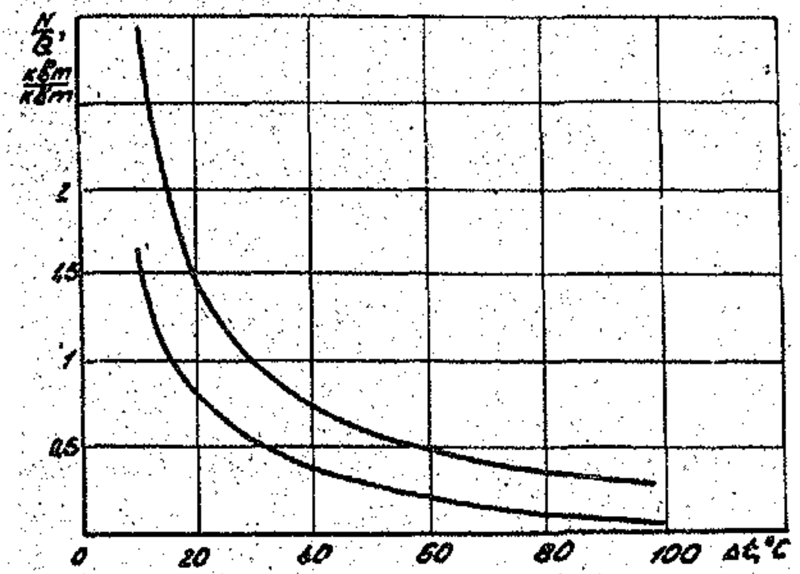
Черт.26



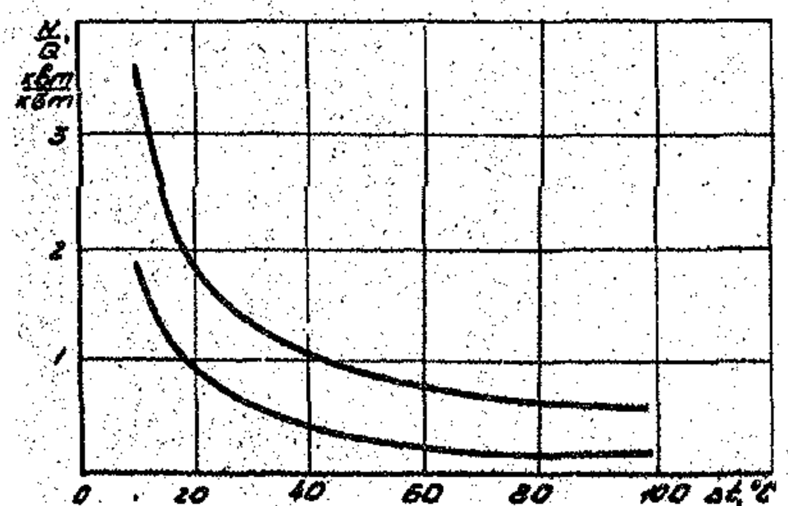
Черт.27



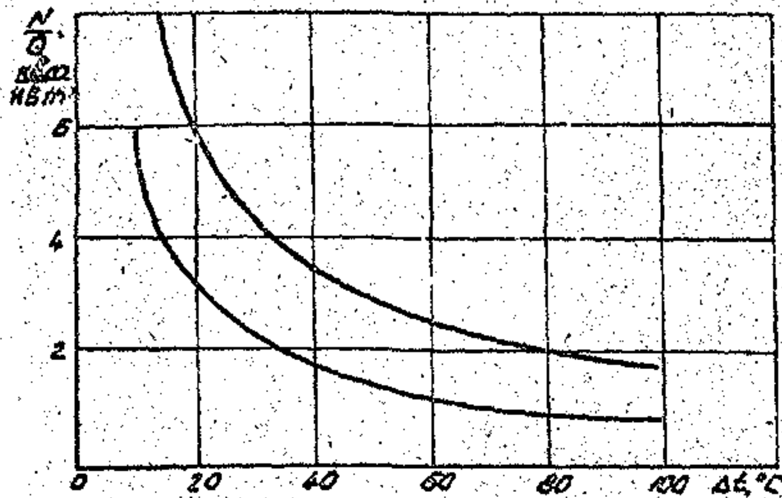
Черт.28



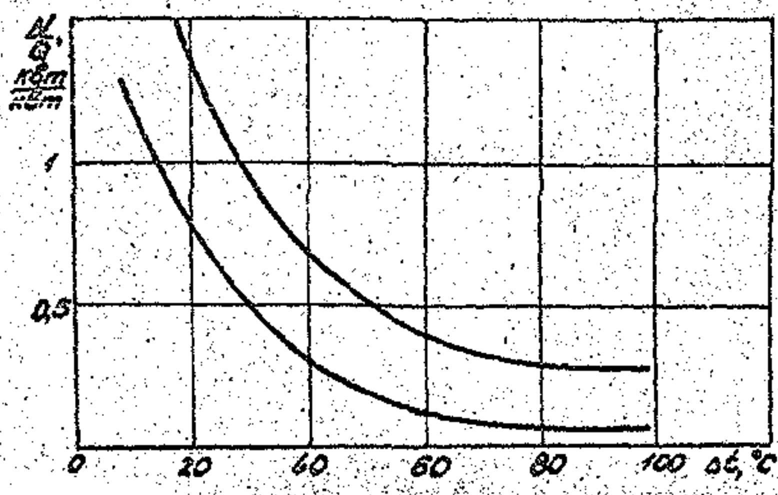
Черт.29



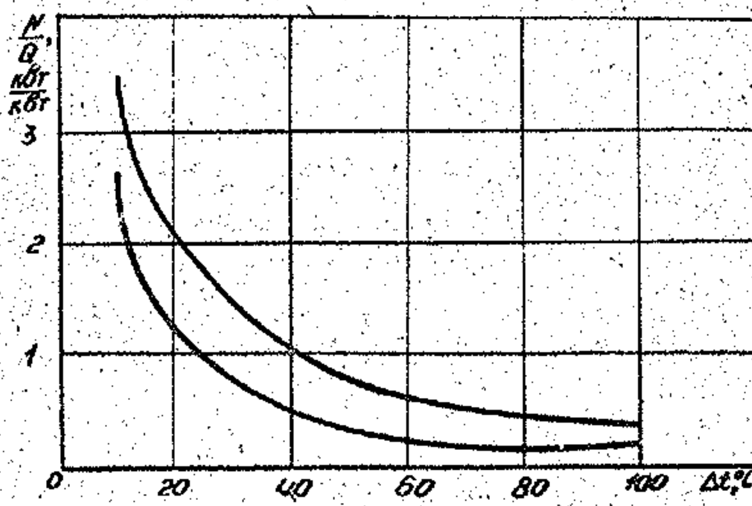
Черт.30



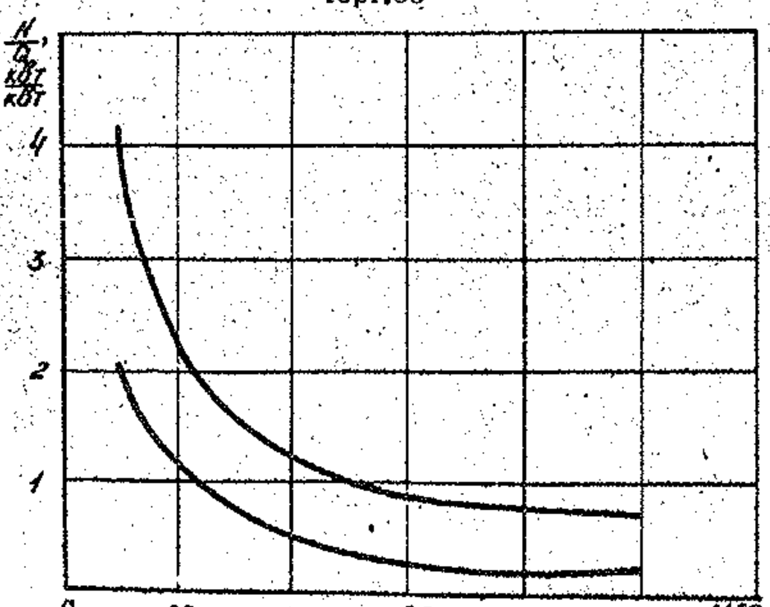
Черт.31



Черт.32



Черт.33



Черт.34

4.4.2. Откладываем значение $\Delta t_{доп}$, полученное в п.4.3.1, на оси Δt чертежа, порядковый номер которого определен в п.4.4.1.

4.4.3. Из полученной точки проводим прямую, параллельную оси ординат, до пересечения с нижней и верхней кривыми на этом графике.

4.4.4. Из полученных точек пересечения проводим прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с осью $\left(\frac{N}{Q}\right)$ и определяем минимальное и максимальное значения удельной мощности, потребляемой системой охлаждения

$$\left(\frac{N}{Q}\right)_{min}, \left(\frac{N}{Q}\right)_{max}, \frac{кВт}{кВт}.$$

4.4.5. Определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения мощности N, $Вт$, потребляемой системой охлаждения:

$$N_{min} = \left(\frac{N}{Q}\right)_{min} \cdot Q; \qquad (12)$$

$$N_{max} = \left(\frac{N}{Q}\right)_{max} \cdot Q; \qquad (13)$$

$$N_p = \frac{N_{min} + N_{max}}{2}. \qquad (14)$$

4.4.6. При проектировании систем жидкостного охлаждения мощность, потребляемую системой охлаждения, рекомендуется выбирать в пределах:

а) для стационарной РЭА $N_p \leq N < N_{max}$;

б) для передвижной и бортовой РЭА $N_{min} \leq N < N_p$.

4.5. Определение усредненных технических характеристик ряда элементов систем принудительного жидкостного охлаждения производится по формулам и графикам, приведенным в рекомендуемом приложении 2.

4.6. Пример выбора принудительного жидкостного способа охлаждения и определения основных технических характеристик системы охлаждения приведен в рекомендуемом приложении 3.

5. ЕСТЕСТВЕННОЕ ИСПАРИТЕЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

5.1. Исходные данные:

а) мощность Q, рассеиваемая РЭА, $вт$;

б) допустимая температура нагретой зоны $t_{доп}$, °C;

в) диапазон изменения температуры окружающей среды (температура воздуха на входе в конденсатор)

$$t_{oc\,min} - t_{oc\,max};$$

г) поверхность нагретой зоны $S_з$, $м^2$;

д) требования к теплоносителю по диэлектрическим и эксплуатационным характеристикам.

5.2. Выбор теплоносителя

5.2.1. Определяется перечень теплоносителей из числа указанных в табл.8, удовлетворяющих требованиям, изложенным в п.5.1.

Таблица 9

Номер теплоносителя	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3
Наименование	Вода	Метиловый спирт	Этиловый спирт	Фреон-II	Фреон-2I6	Фреон-II3	Перфторгептан + изоперфторгептан	Перфтордибутиловый эфир	Перфтортриэтиламин	Смесь метилового спирта с водой концентрации 50%	Смесь этилового спирта с водой концентрации 50%	Этиленгликоль	Смесь этиленгликоля с водой концентрации 50%

5.2.2. Определяется величина удельной тепловой нагрузки по формуле (2).

5.2.3. Откладываем на оси q квадранта A черт.35 величину $q' = 0{,}8\,q$ и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси t этого квадранта.

5.2.4. Откладываем на оси t квадранта A черт.35 значения $t_{доп}$ и $t_{ос}$ и из полученных точек проводим прямые, параллельные оси q этого квадранта.

5.2.5. Определяем порядковые номера кривых, находящихся в квадранте A черт.35 в области, ограниченной прямыми, проведенными согласно пп.5.2.4, 5.2.5, находящейся выше линии $q' = const$.

5.2.6. Из числа определенных в п.5.2.1 теплоносителей выбираем теплоносители, порядковые номера которых определены в п.5.2.5.

5.2.7. В случае, если в исходных данных оговорена величина максимально допустимого давления в системе $H_{доп}$, $\frac{Н}{м^2}$:

а) откладываем значение $H_{доп}$ на оси H квадранта D, черт.35;

б) из полученной точки проводим прямую, параллельную оси t_H квадранта D;

в) откладываем на оси t_H квадранта D черт.35 величину $t_{доп}$ и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси H квадранта D;

г) определяем порядковые номера кривых в области, ограниченной прямыми, проведенными согласно подпунктам б) и в), находящейся выше линии $H_{доп} = const$;

д) из числа теплоносителей, определенных согласно п.5.2.5, выбираем теплоносители, порядковые номера которых определены в п.5.2.5.

5.3. Определение массы системы охлаждения для однокомпонентных теплоносителей 1-9, 12 (табл.9)

5.3.1. Откладываем величину q на оси q квадранта B (черт.35) и из полученной точки проводим прямую,

параллельную оси Δt этого квадранта, до пересечения с линией, соответствующей выбранному теплоносителю.

5.3.2. Из полученной точки пересечения в квадранте B проводим прямую, параллельную оси q этого квадранта, до пересечения с осью Δt квадранта B и определяем величину Δt в 1-м приближении - Δt_1.

5.3.3. Откладываем полученное в п.5.3.2 значение Δt_1 на оси Δt квадранта C (черт.35) и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси t этого квадранта, до пересечения с линией, соответствующей заданному значению

$$t_{доп} = t_з.$$

5.3.4. Из полученной точки пересечения в квадранте C проводим прямую, параллельную оси Δt этого квадранта, и продолжаем эту прямую в квадранте D черт.35 до пересечения с линией, соответствующей выбранному теплоносителю.

5.3.5. Из полученной точки пересечения в квадранте D черт.35 проводим прямую, параллельную оси $t_н$ этого квадранта, и продолжаем эту прямую в квадранте E до пересечения с линией, соответствующей выбранному теплоносителю.

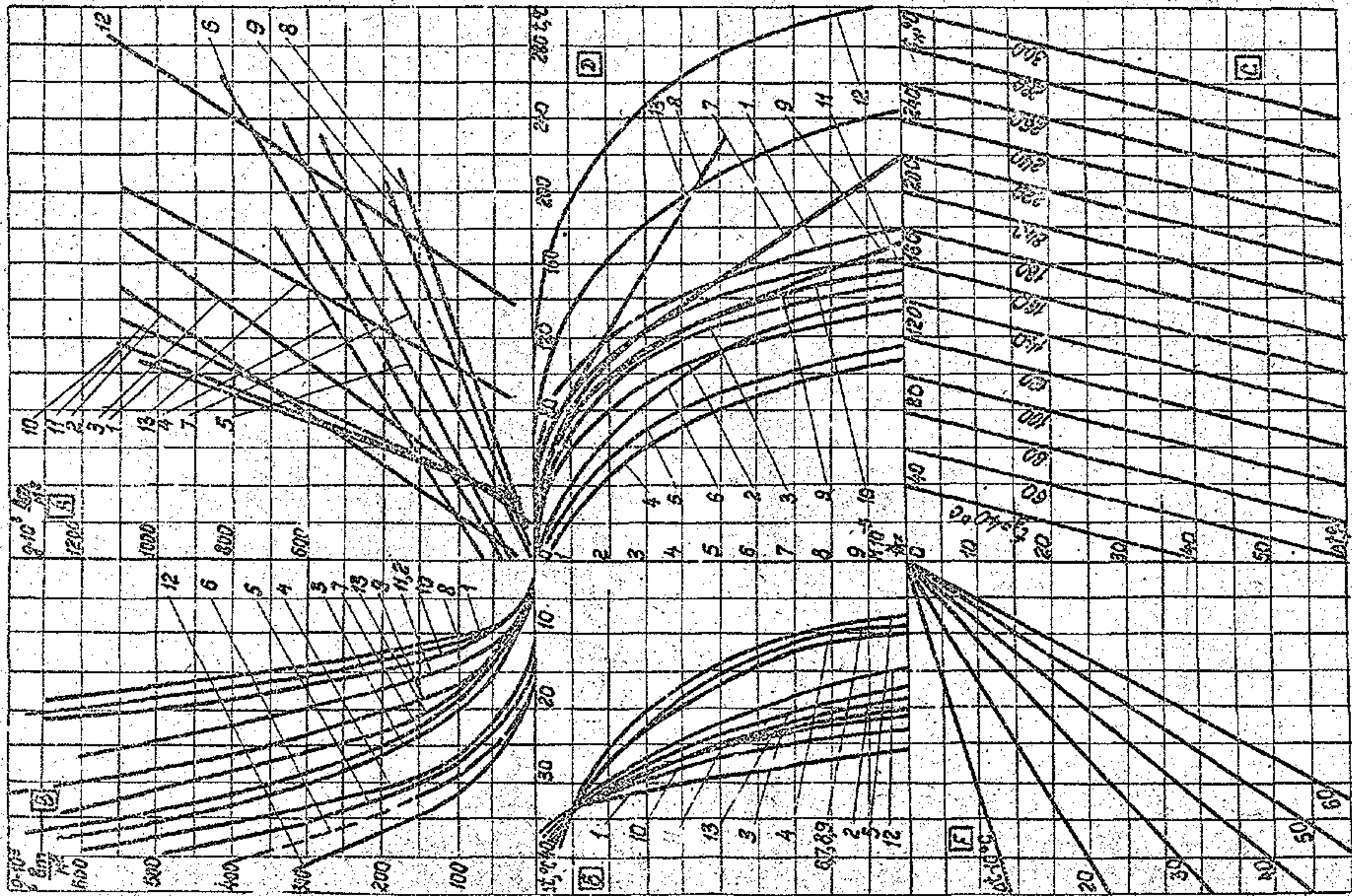
5.3.6. Из полученной точки пересечения в квадранте E черт.35 проводим прямую, параллельно оси H квадранта E, и продолжаем эту прямую в квадранте F до пересечения с прямой, соответствующей значению Δt_1, полученному в п.5.3.2.

5.3.7. Из полученной точки пересечения в квадранте F черт.35 проводим прямую, перпендикулярную оси Δt этого квадранта, до пересечения с этой осью и определяем величину Δt во втором приближении Δt_2.

5.3.8. Проверяем выполнение условия

$$|\Delta t_{i+1} - \Delta t_i| \leq 5°C,$$

где i = 1,2,3 . . . . – порядковый номер приближения.



Черт.35

В случае выполнения этих условий принимаем в качестве окончательного значения величину Δt, соответствующую последнему приближению.

5.3.9. В случае невыполнения условия п.5.3.8 откладываем полученное значение Δt на оси Δt квадранта C, черт.35, проводим построения, соответствующие пп.5.3.3-5.3.7, и получаем Δt в приближениях, удовлетворяющих требования п.5.3.8, определив таким образом окончательное значение Δt.

5.3.10. Откладываем полученное в пп.5.3.8, 5.3.9 значение Δt на оси Δt квадранта B (черт.35) и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси q этого квадранта, до пересечения с линией, соответствующей теплоносителю 6.

5.3.11. Из полученной точки пересечения в квадранте B проводим прямую, параллельную оси Δt этого квадранта, до пересечения с осью q и определяем на этой оси величину

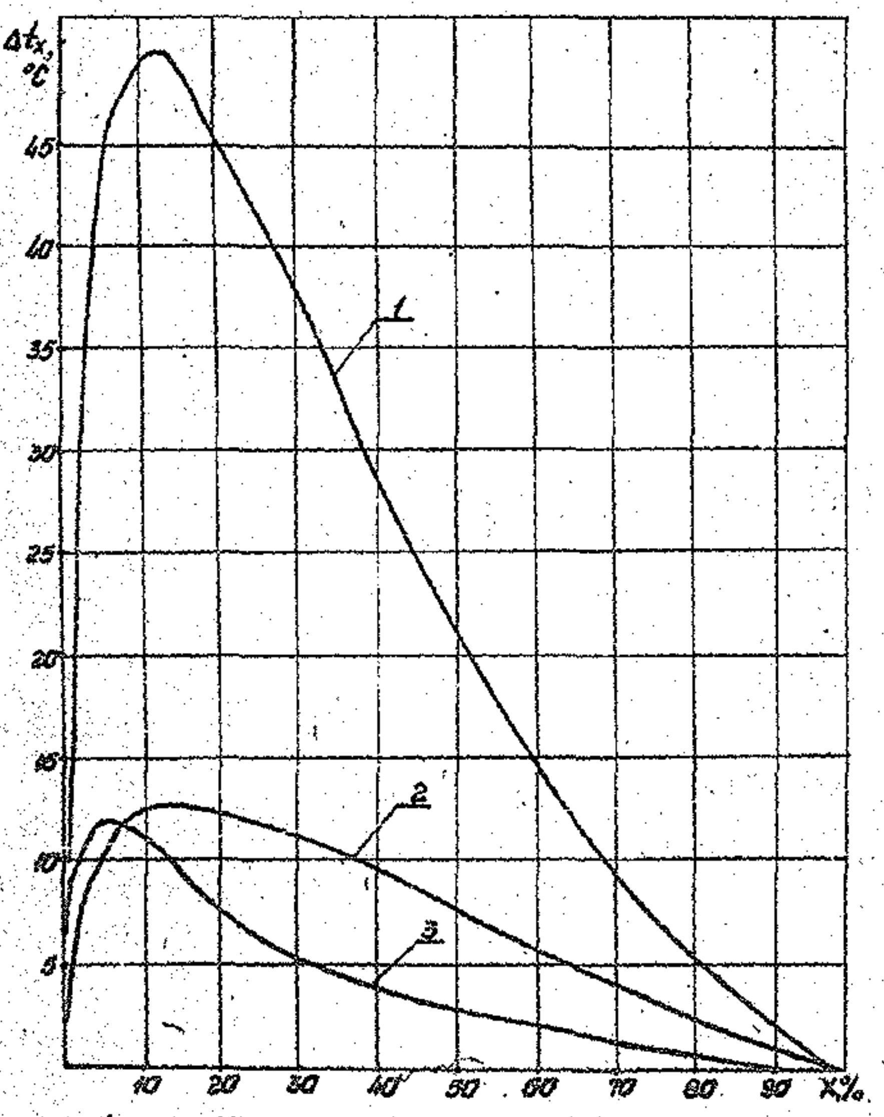
$$q = q_{эф}.$$

5.3.12. Точки пересечения прямых построения, соответствующих окончательному приближению, с осями H и t_H квадранта D (черт.35) соответствуют значениям максимального давления и температуры жидкости в системе (t_H - температура насыщения при данном давлении).

5.3.13. Определяем максимальную величину допустимого перегрева нагретой зоны по формуле (3).

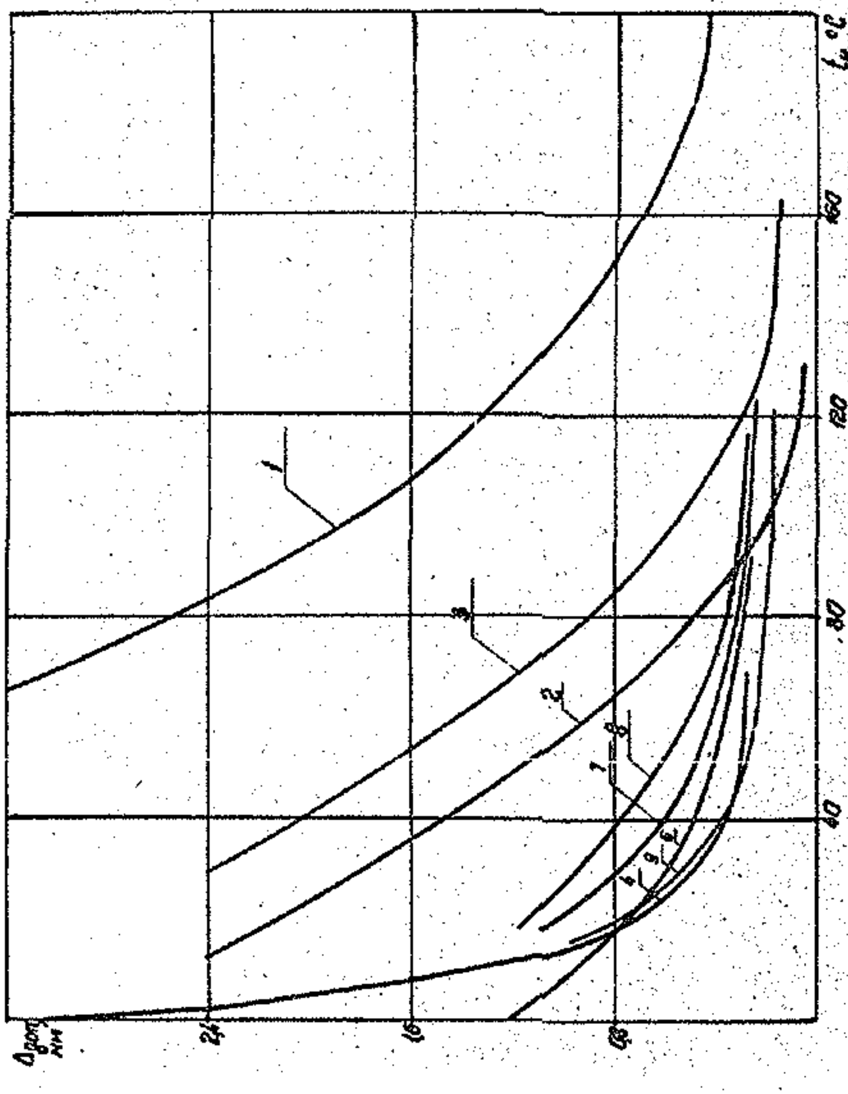
5.3.14. Откладываем на оси Δt черт.38 значение $\Delta t_{доп}$, полученное в п.5.3.13, и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси $\frac{M}{Q}$ черт.38, до пересечения с линией, соответствующей значению $q = q_{эф}$, определенному в п.5.3.11.

5.3.15. Из полученной точки пересечения на черт.38 проводим прямую, параллельную оси Δt, до пересечения с осью $\frac{M}{Q}$ и определяем значение $\frac{M}{Q}$, $\frac{кг}{кВт}$.

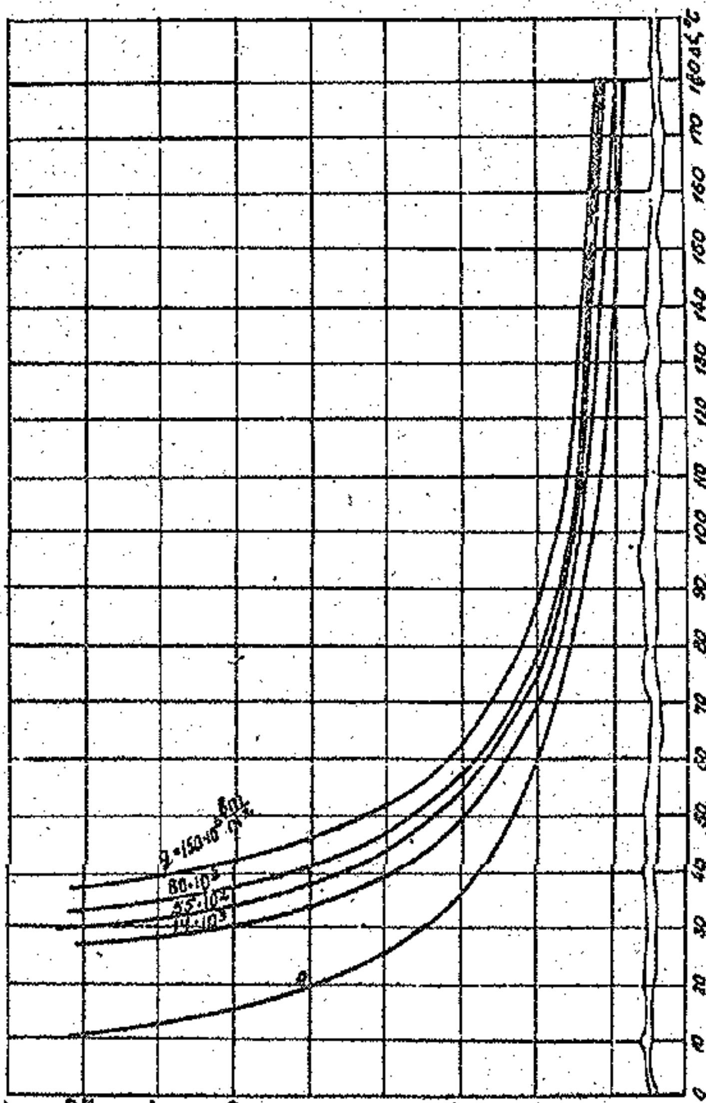


1-раствор этиленгликоля в воде;
2-раствор метилового спирта в воде;
3-раствор этилового спирта в воде.

Черт.36



Наименования теплоносителей согласно табл.9
Черт.37


0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
5
6
7
8
9
10
11
12
80·10³
55·10³
14·10³

Черт.38

5.3.16. Определяем рекомендуемую минимальную величину массы системы охлаждения $M_{p\,min}$, кг, по формуле

$$M_{p\,min} = \left(\frac{M}{Q}\right) \cdot Q \cdot 10^{-3}.$$

5.4. Определение массы системы охлаждения для двухкомпонентных теплоносителей 10, 11, 13 (табл.9)

5.4.1. Проводим построение согласно пп.5.3.1–5.3.9 и, проверяя выполнение условия п.5.3.8, определяем окончательное значение Δt.

5.4.2. Откладываем значение массовой концентрации (X, %) вещества в воде на оси X черт.36 и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси Δt (черт.36), до пересечения с линией, соответствующей данному набору компонентов смеси.

5.4.3. Из точки пересечения, полученной в п.5.4.2, проводим прямую, параллельную оси X черт.36, до пересечения с осью Δt_x (черт.36) и определяем значение Δt_x, °С.

5.4.4. Определяем значение Δt_c, °С, по формуле

$$\Delta t_c = \Delta t + \Delta t_x. \qquad (16)$$

5.4.5. Откладываем на оси Δt квадранта B (черт.35) значение Δt_c и, проводя построение аналогично пп.5.3.10, 5.3.11, получаем значение $q_{эф}$.

5.4.6. Выполняя построение согласно пп.5.3.13–5.3.16, определяем рекомендуемую минимальную величину массы системы охлаждения $M_{p\,min}$.

5.5. Определение мощности, потребляемой системой охлаждения

5.5.1. Определяем величину $\Delta t_{доп}$ согласно п.5.3.13.

5.5.2. Откладываем на оси Δt графика черт.39 значение $\Delta t_{доп}$ и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси $\frac{N}{Q}$, до пересечения с нижней и верхней кривыми на этом графике.

5.5.3. Из полученных точек пересечения проводим прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с осью $\frac{N}{Q}$ и определяем минимальное и максимальное значения удельной мощности, потребляемой системой охлаждения:

$$\left(\frac{N}{Q}\right)_{min}, \left(\frac{N}{Q}\right)_{max}, \frac{квт}{квт}.$$

5.5.4. Определяем минимальное и максимальное значения мощности, потребляемой системой охлаждения N, $вт$, по формулам (12) и (13) соответственно.

5.5.5. Выбираем рекомендуемое значение мощности, потребляемой системой охлаждения в пределах

$$N_{min} < N_p \leq N_{max}.$$

5.6. Определение характеристик системы охлаждения в случае особой геометрии нагретой зоны РЭА (кипение теплоносителя происходит в плоской горизонтальной щели шириной Δ, мм)

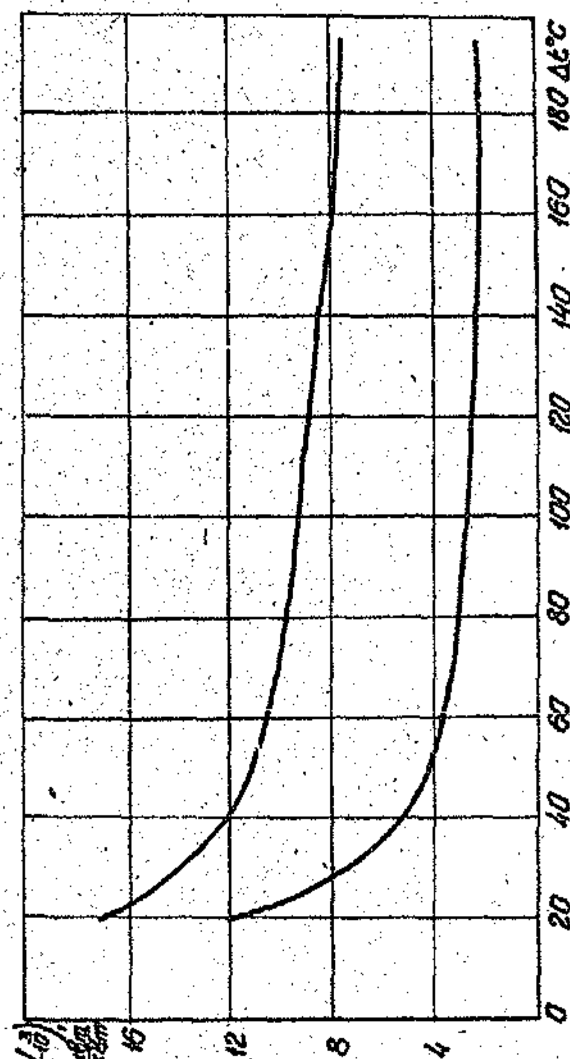
5.6.1. Осуществляем выбор теплоносителя согласно п.5.2.

5.6.2. Определяем величину Δt согласно пп.5.3.1-5.3.9.

5.6.3. Определяем величину температуры $t_н$ по формуле

$$t_н = t_{доп} - \Delta t. \qquad (17)$$

5.6.4. Откладываем на оси t черт.37 значение $t_н$ и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси $\Delta_{доп}$, до пересечения с линией, соответствующей выбранному теплоносителю (нумерация теплоносителей на кривых черт.37 соответствует табл.9).



Черт.39

5.6.5. Из полученной точки пересечения проводим прямую, параллельную оси t черт.37, до пересечения осью $\Delta_{доп}$ и определяем минимально допустимую величину ширины щели $\Delta_{доп}$.

5.6.6. Проверяем выполнение условия

$$\Delta > \Delta_{доп}.$$

5.6.7. В случае невыполнения условия п.5.6.6 система неработоспособна, поэтому необходимо использовать соответствующие методы для обеспечения выполнения этого условия (увеличить величину Δ, использовать другой тип теплоносителя и т.д.).

5.6.8. В случае выполнения условия п.5.6.6 определяем массу и потребляемую мощность системы охлаждения согласно пп.5.3.10-5.3.16 или 5.4.1-5.4.6, 5.5.2-5.5.5.

5.7. Определение усредненных технических характеристик ряда элементов систем естественного испарительного охлаждения производится по формулам и графикам, приведенным в рекомендуемом приложении 2.

Пример определения основных технических характеристик системы охлаждения приведен в рекомендуемом приложении 3.

6. ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ИСПАРИТЕЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

6.1. Исходные данные:

а) мощность Q, *Вт*, рассеиваемая РЭА;

б) допустимая температура нагретой зоны $t_{доп}$, °С;

в) диапазон изменения температуры окружающей среды t_{oc} (температуры воздуха на входе в конденсатор), °С;

г) поверхность нагретой зоны $S_з$, м^2;

д) требования к теплоносителю по диэлектрическим и эксплуатационным характеристикам.

6.2. Выбор теплоносителя

6.2.1. Определяется перечень теплоносителей, удовлетворяющих требованиям, изложенным в п.6.1.

6.2.2. Из числа определенных в п.6.2.1 теплоносителей выбираются те, для которых выполняется условие

$$t_{нк} < t_{доп},$$

где значения $t_{нк}$ приведены в табл.10.

Таблица 10

Номер теплоносителя	Наименование теплоносителя	$t_{нк}$, °C
1	Вода	100
2	Метиловый спирт	64
3	Этиловый спирт	78
4	Антифриз-65	121
5	Перфтордиметилциклогексиламин	111
6	Перфтортриэтиламин	69
7	Перфтордибутиловый эфир	100
8	11 ФД	130
9	ПМС-10	250
10	ФМ-1322	190

6.2.3. Из числа определенных в п.6.2.2 теплоносителей выбираем тот, который имеет в табл.10 меньший порядковый номер.

6.3. Определение массы системы охлаждения

6.3.1. Определяем минимальную величину допустимого перегрева нагретой зоны $\Delta t_{доп, min}$, °C, по формуле (3).

6.3.2. Определяем величину удельной мощности нагретой зоны по формуле (2).

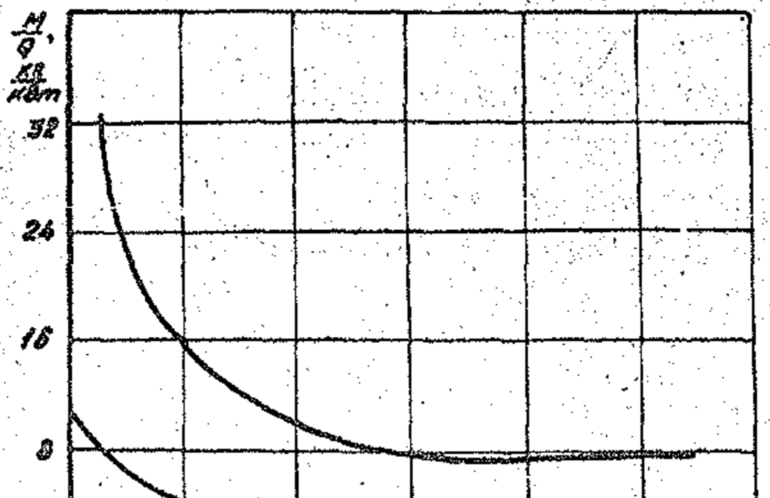
6.3.3. Определяем порядковый номер чертежа для определения величины удельной массы системы охлаждения $\frac{M}{Q}$, $\frac{кг}{квт}$, при помощи табл.11.

Таблица 11

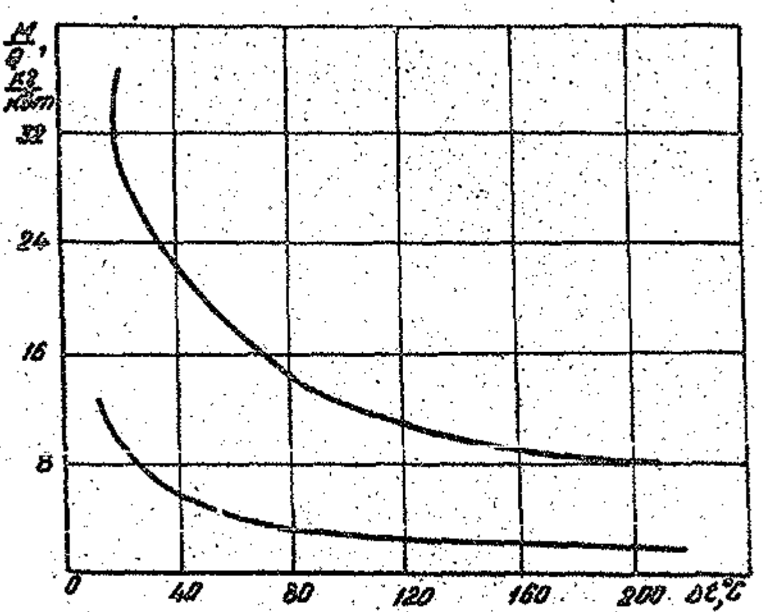
Номер теплоносителя в табл. 10	Удельная мощность нагретой зоны q, $\frac{вт}{м^2}$	Номер чертежа
1	$0 - 10^5$	40
	$10^5 - 5\cdot10^5$	44
	$5\cdot10^5 - 10^7$	48
2 - 4	$0 - 10^5$	41
	$10^5 - 10^6$	45
	$10^6 - 5\cdot10^6$	49
5 - 8	$0 - 10^5$	42
	$10^5 - 2\cdot10^6$	46
	$2\cdot10^6 - 5\cdot10^6$	50

Продолжение табл. 11

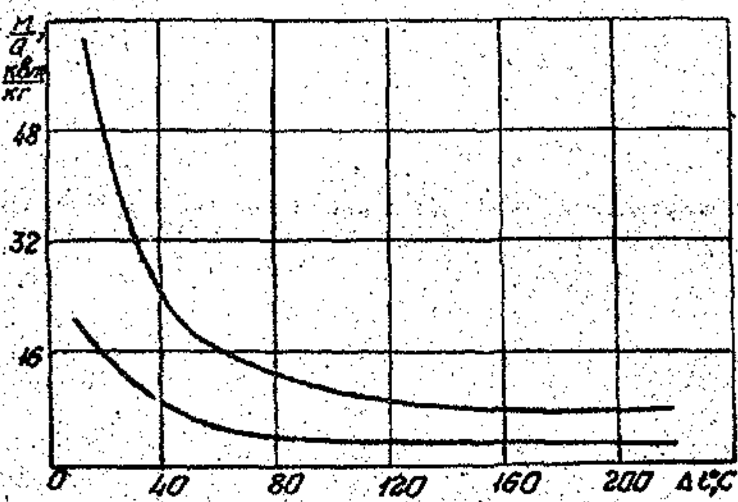
Номер теплоносителя в табл. 10	Удельная мощность нагретой зоны q, $\frac{вт}{м^2}$	Номер чертежа
9, 10	$0 - 10^5$	43
	$10^5 - 5 \cdot 10^5$	47
	$5 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6$	51



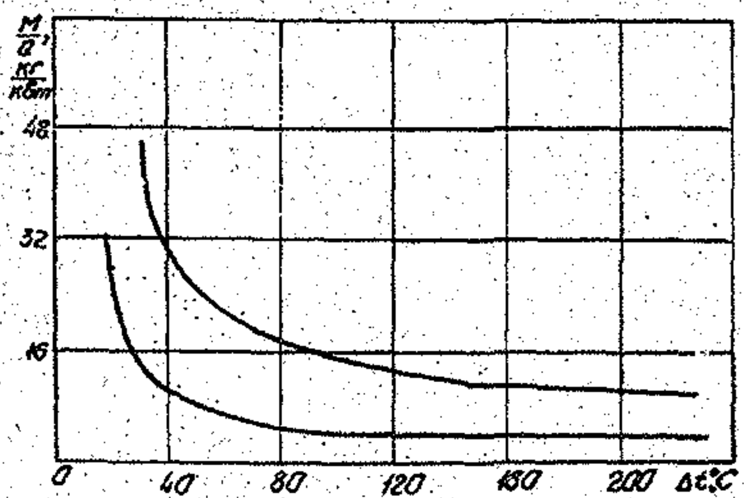
Черт. 40



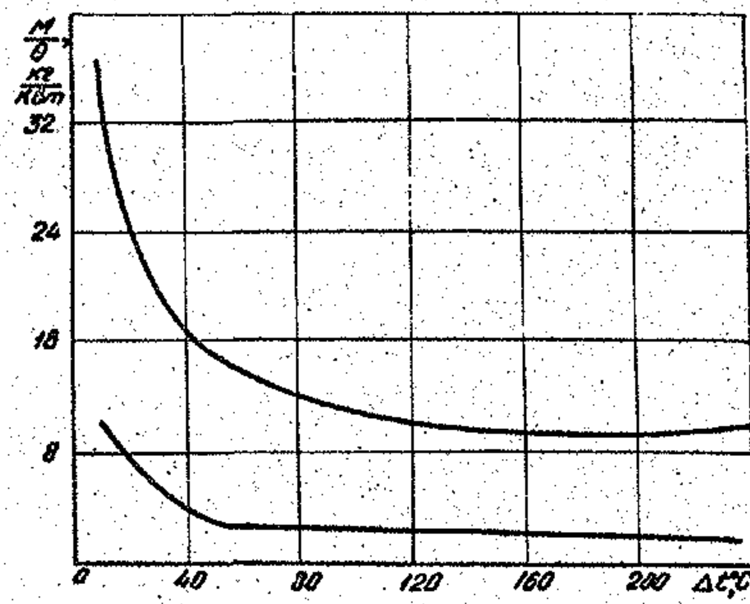
Черт.41



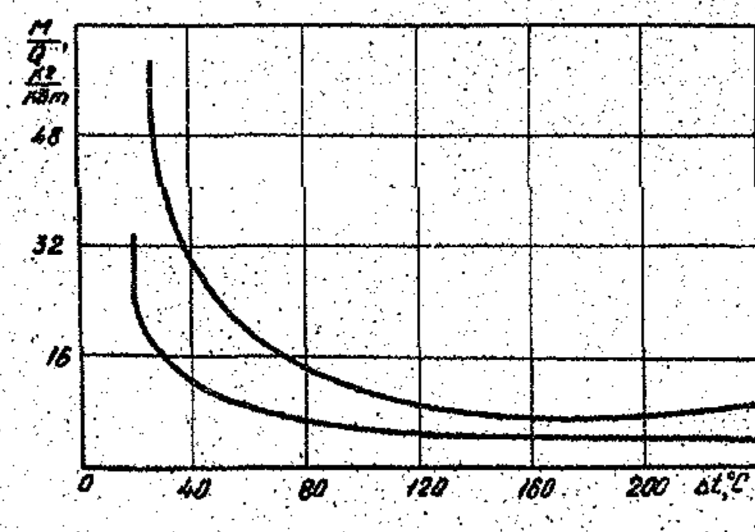
Черт.42



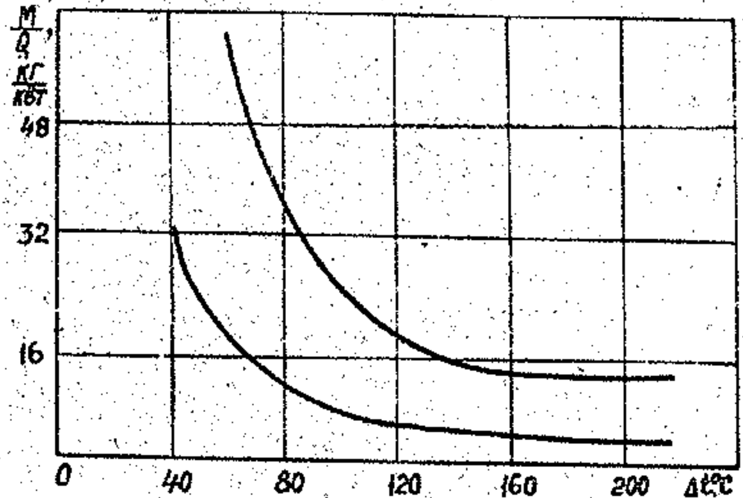
Черт.43



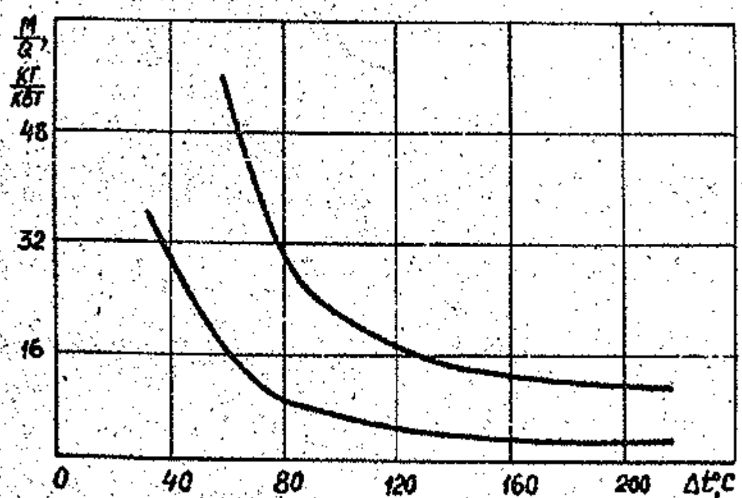
Черт.44



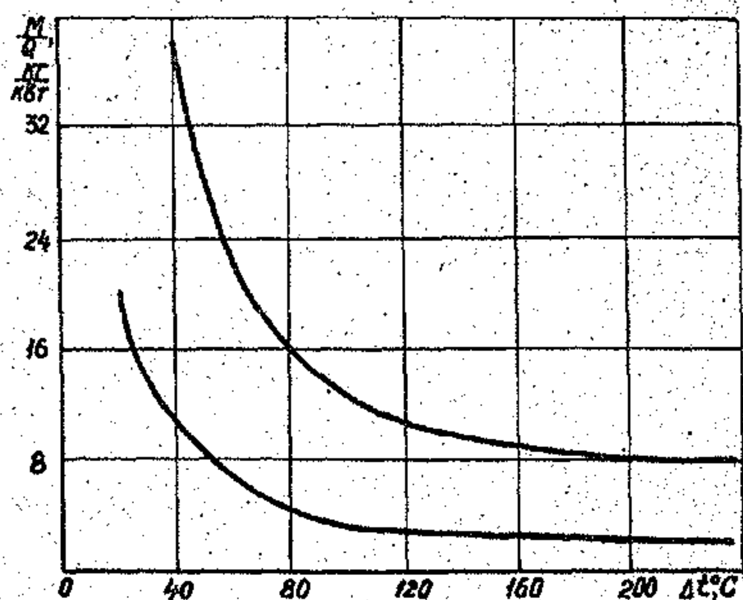
Черт.45



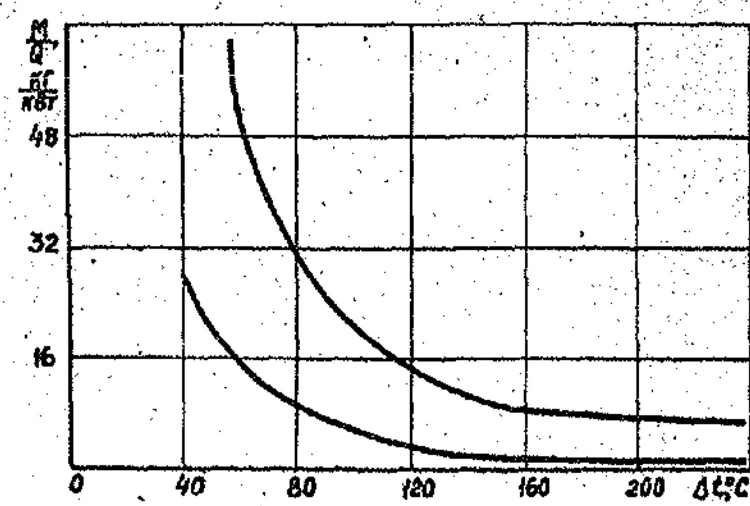
Черт.46



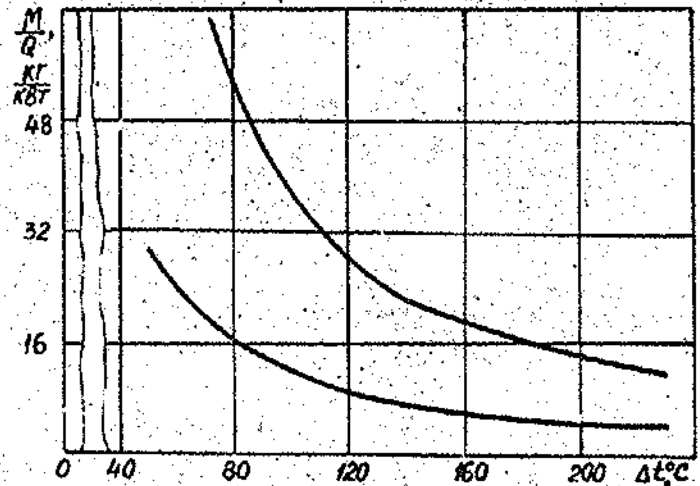
Черт.47



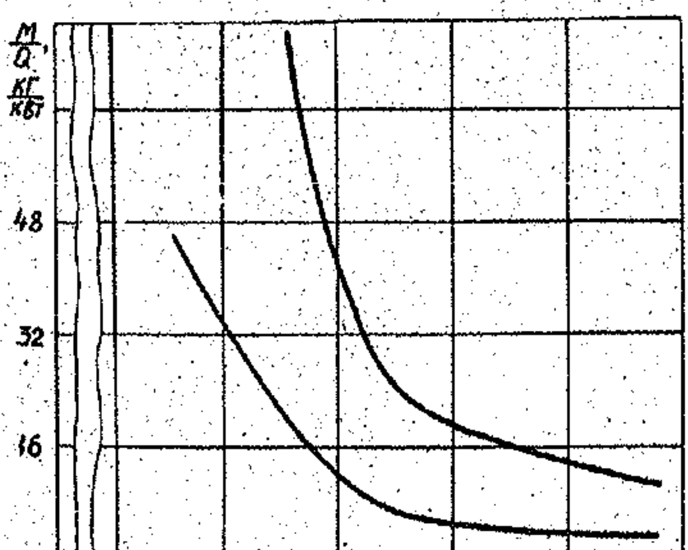
Черт.48



Черт.49



Черт.50



Черт.51

6.3.4. Откладываем значение $\Delta t_{доп}$, полученное согласно п.6.3.1, на оси Δt чертежа, порядковый номер которого определен в п.6.3.3.

6.3.5. Из полученной точки проводим прямую, параллельную оси ординат, до пересечения с нижней и верхней кривыми на этом графике.

6.3.6. Из полученных точек пересечения проводим прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с осью $\frac{M}{Q}$ и определяем минимальное и максимальное значения удельной массы системы охлаждения

$$\left(\frac{M}{Q}\right)_{min}, \left(\frac{M}{Q}\right)_{max}, \frac{кг}{квт}.$$

6.3.7. Определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения массы M, кг, системы охлаждения по формулам (9), (10), (11).

6.3.8. При проектировании систем принудительного испарительного охлаждения массу системы рекомендуется выбирать в пределах:

а) для стационарной РЭА $M_p \leq M < M_{max}$;

б) для передвижной и бортовой РЭА $M_{min} \leq M < M_p$.

6.4. Определение мощности, потребляемой системой охлаждения

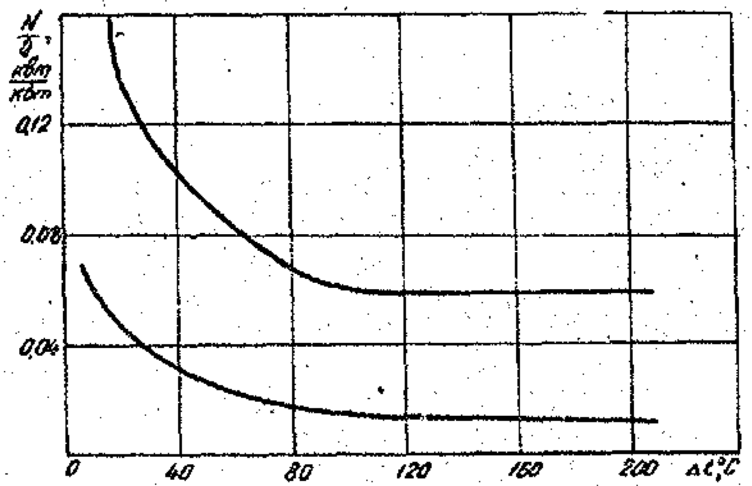
6.4.1. Находим порядковый номер чертежа для определения величины удельной мощности, потребляемой системой охлаждения, $\left(\frac{N}{Q}\right)$, $\frac{квт}{квт}$, при помощи табл.12.

Таблица 12

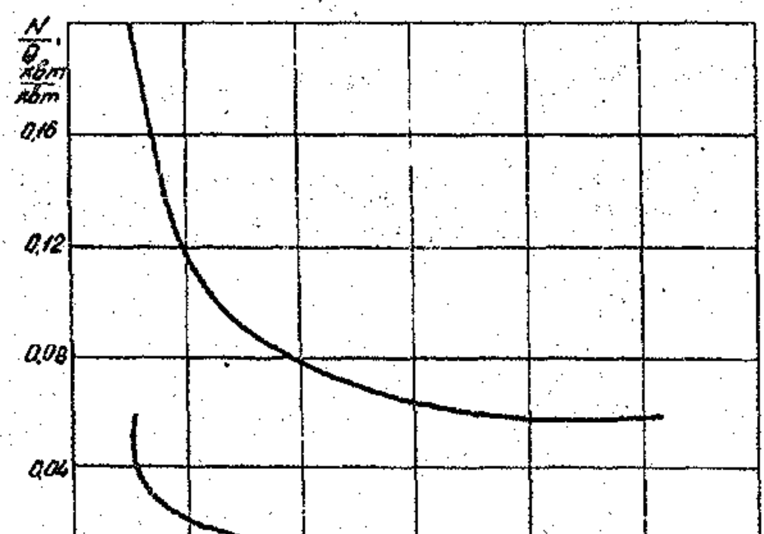
Номер теплоносителя в табл.10	Удельная мощность нагретой зоны $q, \frac{вт}{м^2}$	Номер чертежа
1	$0 - 10^5$	52
	$10^5 - 5 \cdot 10^5$	56
	$5 \cdot 10^5 - 10^7$	60
2 - 4	$0 - 10^5$	53
	$10^5 - 10^6$	57
	$10^6 - 5 \cdot 10^6$	61
5 - 8	$0 - 10^5$	54
	$10^5 - 2 \cdot 10^6$	58
	$2 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$	62
9, 10	$0 - 10^5$	55
	$10^5 - 5 \cdot 10^5$	59
	$5 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6$	63

6.4.2. Откладываем значение $\Delta t_{доп}$, полученное согласно п.6.3.1, на оси Δt чертежа, порядковый номер которого определен в п.6.4.1.

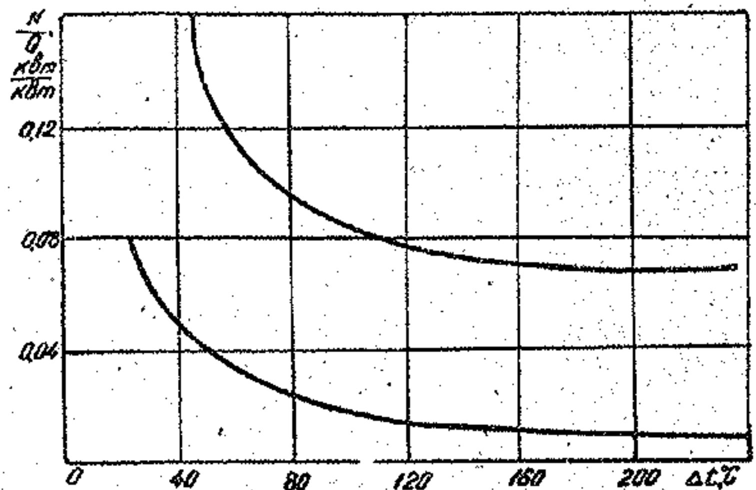
6.4.3. Из полученной точки проводим прямую, параллельную оси ординат, до пересечения с нижней и верхней кривыми на этом графике.



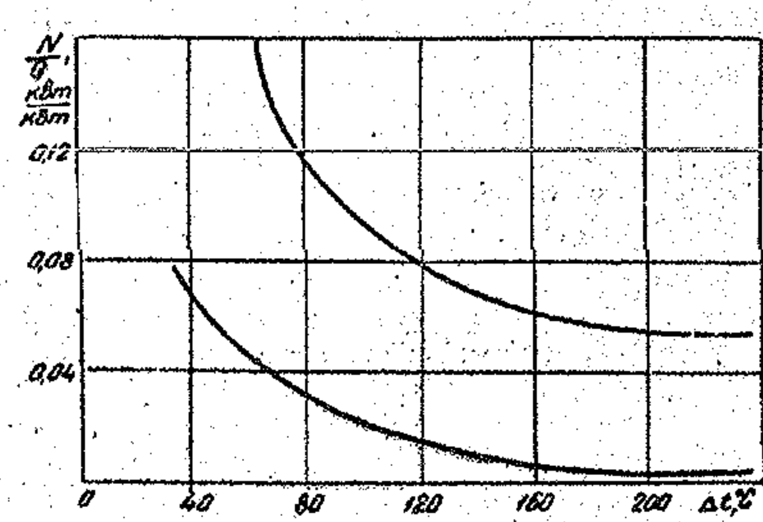
Черт.52



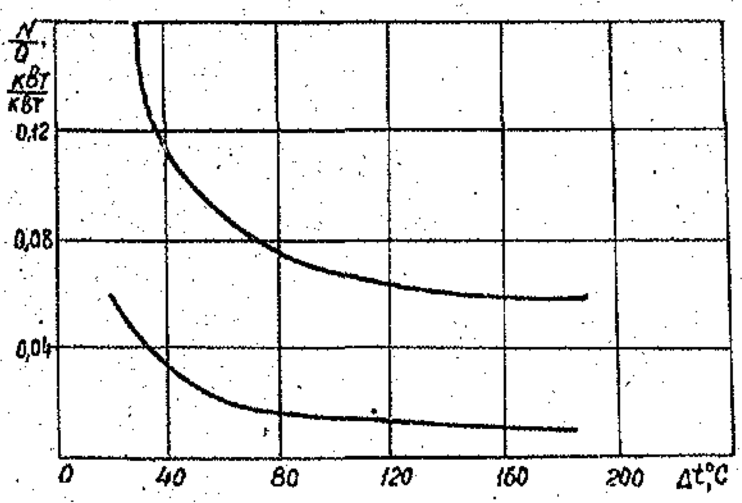
Черт.53



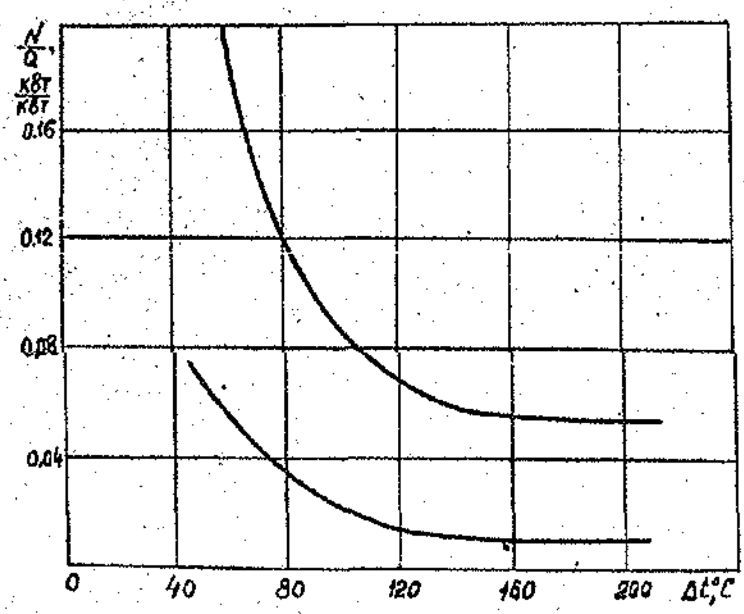
Черт.54



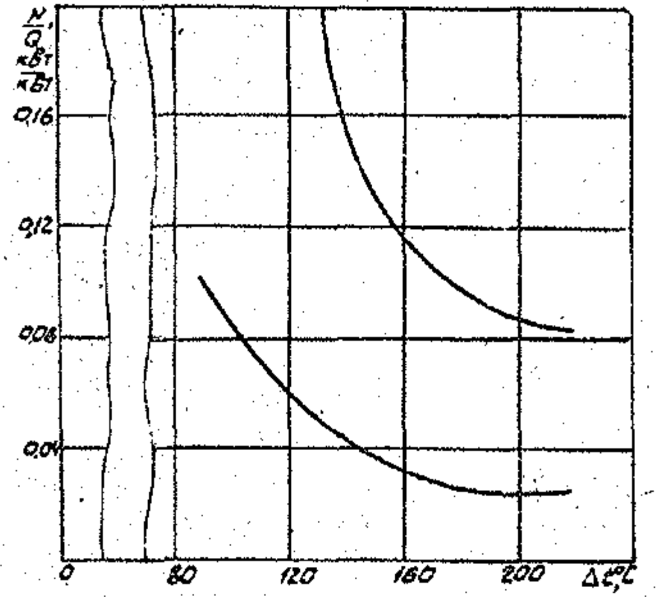
Черт.55



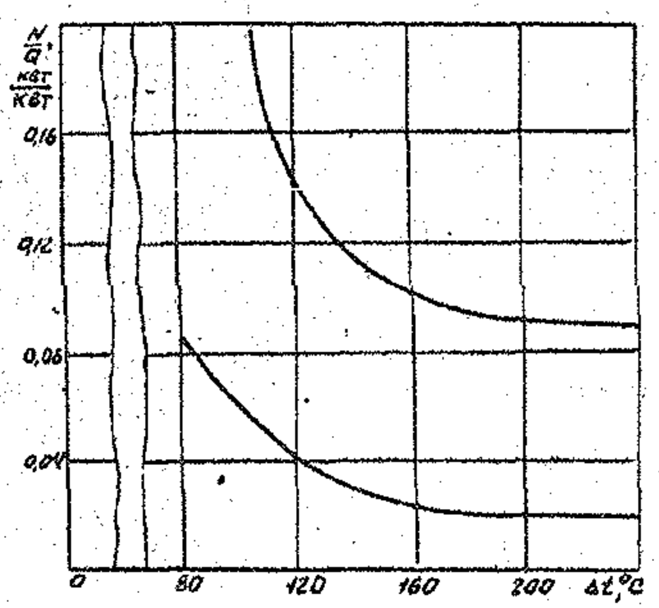
Черт.56



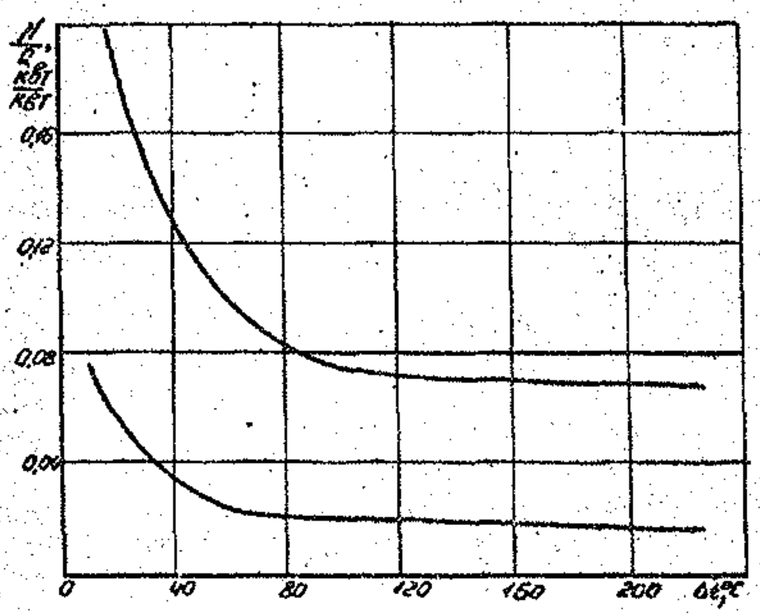
Черт.57



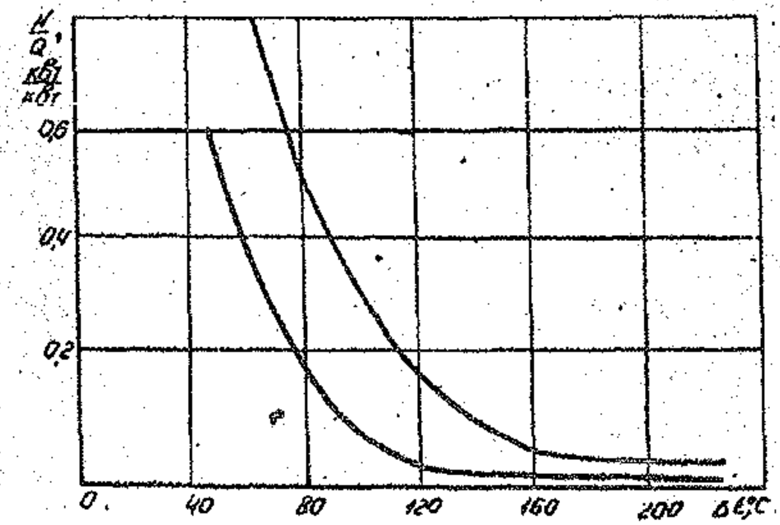
Черт.58



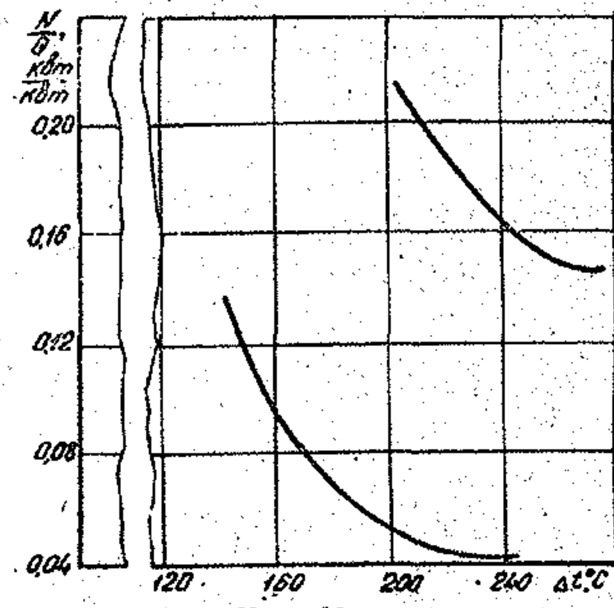
Черт.59



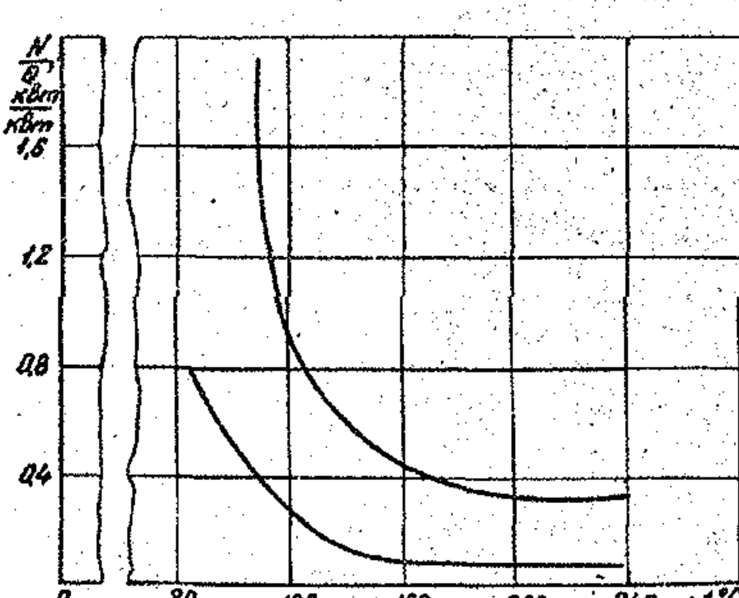
Черт.60



Черт.61



Черт.62



Черт.63

6.4.4. Из полученных точек пересечения проводим прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с осью $\frac{N}{Q}$ и определяем минимальное и максимальное значения удельной мощности, потребляемой системой охлаждения

$$\left(\frac{N}{Q}\right)_{min},\ \left(\frac{N}{Q}\right)_{max},\ \frac{кВт}{кВт}.$$

6.4.5. Определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения мощности N, *Вт*, потребляемой системой охлаждения по формулам (12), (13), (14) соответственно.

6.4.6. При проектировании систем принудительного испарительного охлаждения мощность, потребляемую системой, рекомендуется выбирать в пределах:

а) для стационарной РЭА $N_p \leq N < N_{max}$;

б) для передвижной и бортовой РЭА $N_{min} \leq N < N_p$.

6.5. Определение усредненных технических характеристик ряда элементов систем принудительного испарительного охлаждения производится по формулам и графикам, приведенным в рекомендуемом приложении 2.

6.6. Пример определения основных технических характеристик системы охлаждения приведен в рекомендуемом приложении 3.

Приложение 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. Нагретой зоной блока называются его шасси (платы) с расположенными на них элементами.

2. Нагретой зоной индивидуального элемента называется его поверхность, находящаяся в непосредственном контакте с теплоносителем *).

3. Тепловой режим блока называется нормальным, если температуры его элементов равны или ниже допустимых по техническому заданию на эти элементы.

4. Тепловой режим индивидуального элемента называется нормальным, если температура его поверхности, находящейся в непосредственном контакте с теплоносителем, равна или ниже допустимой по техническому заданию.

5. Тепловой режим блока или индивидуального элемента называется стационарным, если температура во всех точках нагретой зоны блока или индивидуального элемента не изменяется во времени.

6. Допустимой температурой нагретой зоны блока называется предельно допустимая температура наименее теплостойкого элемента.

7. Допустимой температурой нагретой зоны индивидуального элемента называется предельно допустимая температура его поверхности, находящаяся в непосредственном контакте с теплоносителем.

8. Допустимым перегревом нагретой зоны блока (или индивидуального элемента) называется:

а) при естественном воздушном охлаждении - разность между допустимой температурой нагретой зоны и температурой окружающей среды;

---

*) Здесь и в дальнейшем под индивидуальным элементом подразумевается элемент, охлаждаемый индивидуально.

б) при принудительном воздушном охлаждении – разность между допустимой температурой нагретой зоны и температурой воздуха на входе в блок (или индивидуальный элемент);

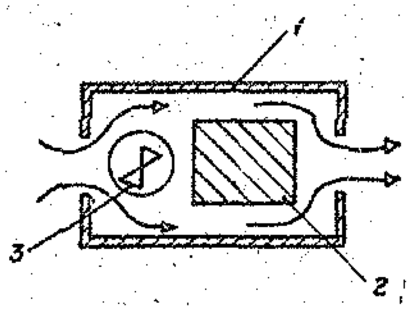
в) при принудительном жидкостном, естественном испарительном и принудительном испарительном охлаждениях – разность между допустимой температурой нагретой зоны и температурой воздуха на входе в теплообменник или конденсатор.

9. Допустимым перегревом нагретой зоны системы, состоящей из блоков или индивидуальных элементов, расположенных последовательно по ходу движения теплоносителя, называется, минимально допустимый перегрев нагретой зоны одного из блоков (или индивидуальных элементов), входящих в систему.

10. Способы охлаждения:

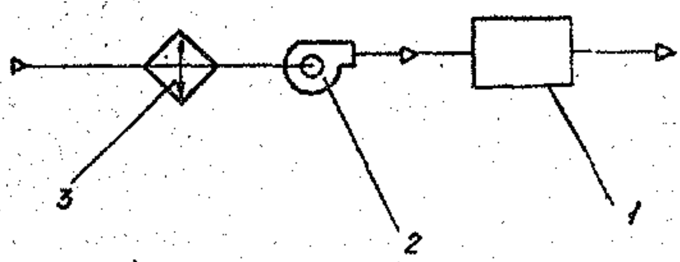
а) ЕСТЕСТВЕННЫЙ ВОЗДУШНЫЙ – без затрат дополнительной энергии на перемещение теплоносителя (воздуха), охлаждающего нагретую зону;

б) ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ ВОЗДУШНЫЙ – с затратой дополнительной энергии на перемещение теплоносителя (воздуха), охлаждающего нагретую зону (черт.1,2);



1 – кожух РЭА; 2 – нагретая зона; 3 – вентилятор

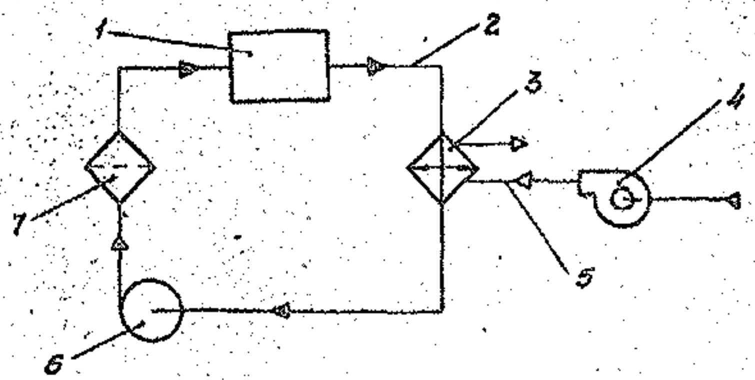
Черт.1



1 - РЭА; 2 - вентилятор; 3 - воздухоохладитель

Черт.2

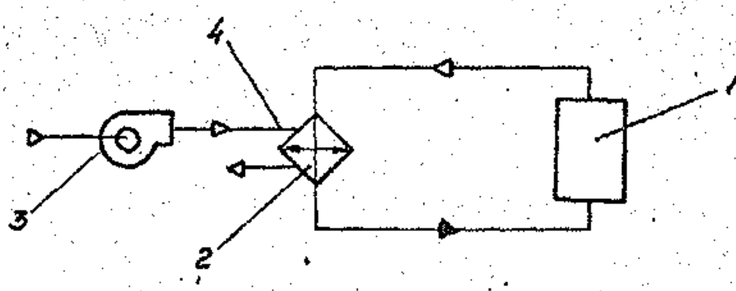
в) ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ ЖИДКОСТНЫЙ - с затратой дополнительной энергии на перемещение теплоносителя (жидкости), охлаждающего нагретую зону (черт.3);



1 - РЭА; 2 - трубопровод; 3 - теплообменник (охладитель); 4 - вентилятор; 5 - воздуховод; 6 - насос; 7 - жидкостный фильтр

Черт.3

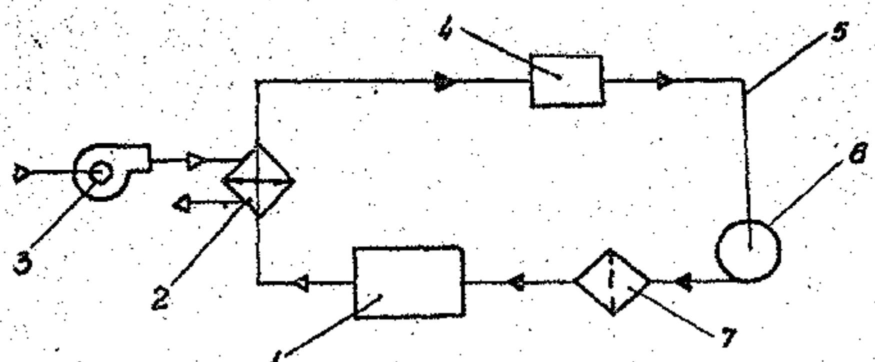
г) ЕСТЕСТВЕННЫЙ ИСПАРИТЕЛЬНЫЙ – без затраты дополнительной энергии на перемещение теплоносителя (паро-жидкостной смеси), охлаждающего нагретую зону (черт.4);



1 – РЭА; 2 – конденсатор (охладитель); 3 – вентилятор; 4 – воздуховод; 5 – трубопровод

Черт.4

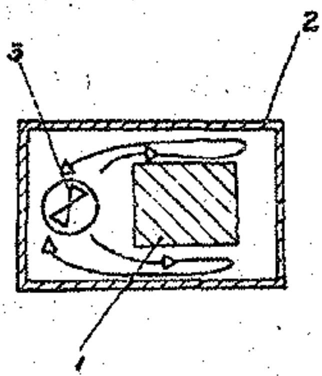
д) ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ ИСПАРИТЕЛЬНЫЙ – с затратой дополнительной энергии на перемещение теплоносителя (паро-жидкостной смеси), охлаждающего нагретую зону (черт.5).



1 – РЭА; 2 – конденсатор (охладитель); 3 – вентилятор; 4 – расширительный бак; 5 – трубопровод; 6 – насос; 7 – фильтр

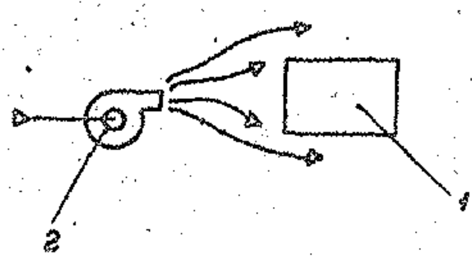
Черт.5

Воздушное охлаждение блоков с внутренним перемещением воздуха (черт.6) и воздушное охлаждение блоков с наружным обдувом блока (черт.7), обладающие признаками как естественного, так и принудительного охлаждения, условно относим к естественному воздушному охлаждению.



I - нагретая зона; 2 - кожух блока; 3 - вентилятор

Черт.6



I - кожух блока; 2 - вентилятор

Черт.7

Рекомендуемое приложение 2 к ОСТ4 Г0.070.003

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСРЕДНЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

1. Определение усредненных характеристик вентиляторов

1.1. Мощность N, *вт*, потребляемая вентилятором, определяется:

а) по формуле

$$N = (\eta_1 \cdot W \cdot H + \eta_2), \quad (1)$$

где W - производительность вентилятора, $\frac{м^3}{сек}$;

H - напор, развиваемый вентилятором, $\frac{н}{м^2}$;

η_1 и η_2 - числовые коэффициенты, определяются согласно табл.1;

Таблица 1

Тип вентилятора	$W, \frac{м^3}{сек}$	η_1	η_2
Центробежный, с электродвигателем постоянного и переменного тока частотой 400 Гц	0-0,014	$3,31 \cdot 10^2$	32,0
	0,014-0,028	$2,43 \cdot 10^2$	42,1
	0,028-0,111	$2,64 \cdot 10^2$	56,1
	$> 0,111$	$2,36 \cdot 10^2$	176,4

Продолжение табл.1

Тип вентилятора	W, $\frac{м^3}{сек}$	η_1	η_2
Центробежный с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0–0,056	$2{,}57 \cdot 10^2$	39,4
	0,056–0,139	$1{,}90 \cdot 10^2$	131,5
	0,135–0,427	$2{,}61 \cdot 10^2$	9,2
	> 0,427	$1{,}76 \cdot 10^2$	946
Осевой с электродвигателем постоянного и переменного тока частотой 400 Гц	0–0,111	$2{,}04 \cdot 10^2$	27,0
	>0,111	$2{,}47 \cdot 10^2$	152,0
Осевой с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0–0,278	$1{,}02 \cdot 10^3$	12,0
	>0,278	$1{,}62 \cdot 10^2$	41,7

б) по графику черт.1 в зависимости от произведения

$$W \cdot H, \frac{м^3}{сек} \cdot \frac{н}{м^2}.$$

1.2. Масса вентилятора M, кг, определяется:

а) по формуле

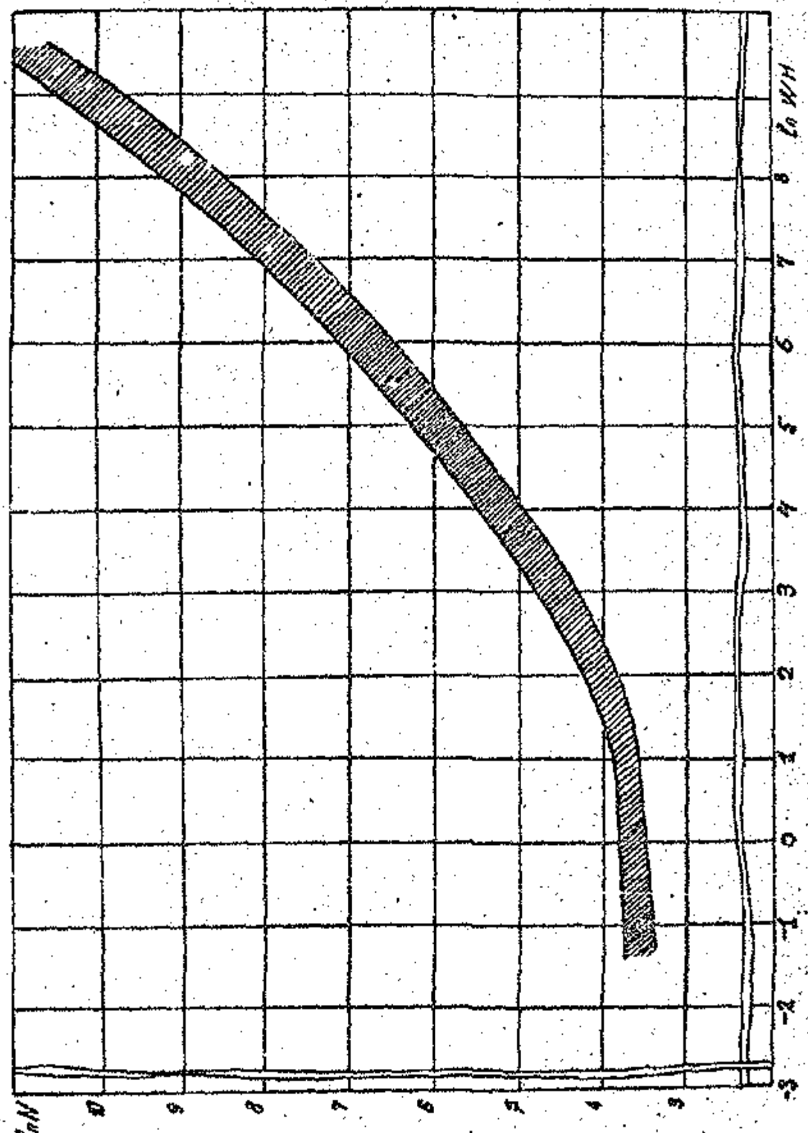
$$M = (\eta_3 \cdot N + \eta_4), \qquad (2)$$

где N, вт – мощность, потребляемая вентилятором;

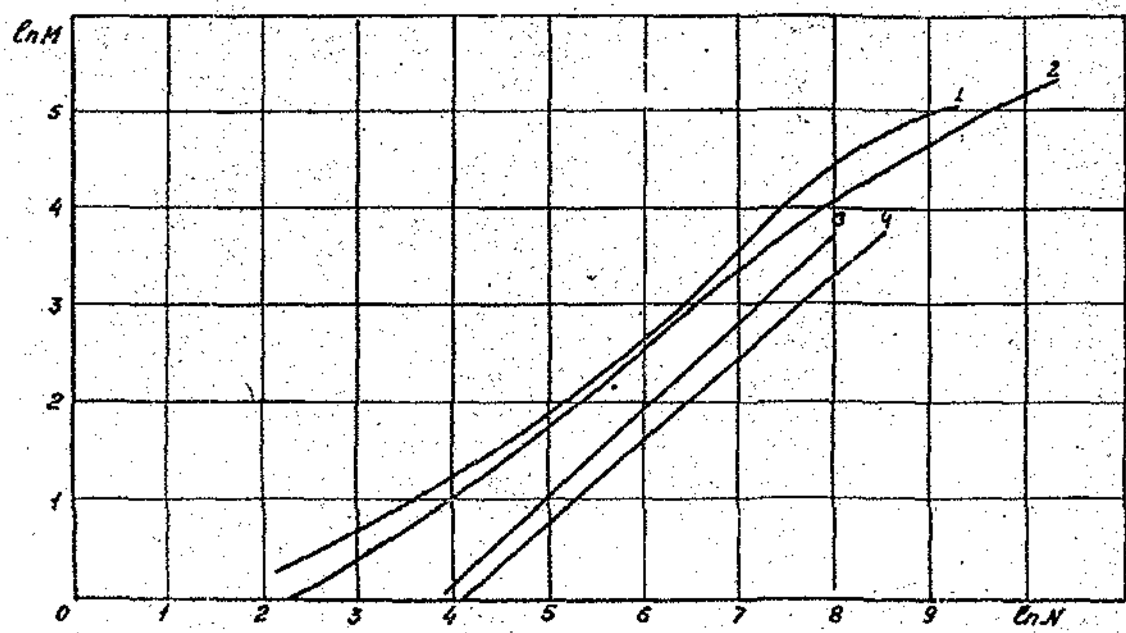
η_3 и η_4 – числовые коэффициенты, определяются согласно табл.2;

Таблица 2

Тип вентилятора	W, $\frac{м^3}{сек}$	η_3	η_4
Центробежный с электродвигателем постоянного и переменного тока частотой 400 Гц	0–0,14	0,032	–0,465
	0,014–0,028	0,026	–0,034
	0,028–0,111	0,01	1,95
	> 0,111	0,012	9,32
Центробежный с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0–0,056	0,037	0,67
	0,056–0,139	0,019	5,1
	0,139–0,427	0,009	11,8
	> 0,427	0,005	62,0
Осевой с электродвигателем постоянного и переменного тока частотой 400 Гц	0–0,111	0,015	0,10
	>0,111	0,006	8,9
Осевой с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0–0,278	0,032	2,5
	>0,278	0,006	102,3



Черт.1



1–осевой, частота 50 Гц;
2–центробежный, частота 50 Гц;
3–центробежный, частота 400 Гц, постоянный ток;
4–осевой, частота 400 Гц, постоянный ток

Черт.2

б) по графику черт.2, в зависимости от величины N.

1.3. Объем вентилятора V, $м^3$, определяется:

а) по формуле

$$V = (\eta_5 \cdot N + \eta_6) \cdot 10^{-3}, \qquad (3)$$

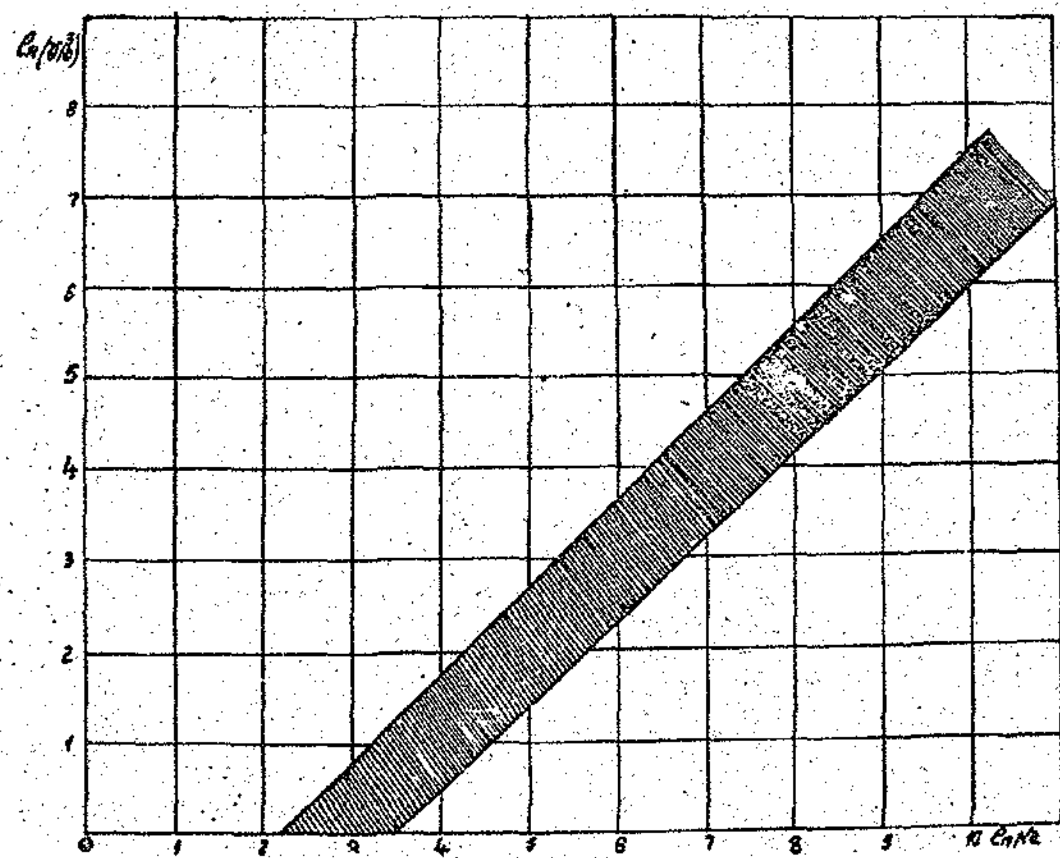
где N – мощность, потребляемая вентилятором, вт;

η_5 и η_6 – числовые коэффициенты, определяются согласно табл.3.

Таблица 3

Тип вентилятора	$W, \frac{м^3}{сек}$	η_5	η_6
Центробежный с электродвигателем постоянного и переменного тока частотой 400 Гц	0–0,014	–0,0006	1,54
	0,014–0,028	0,044	–0,29
	0,028–0,111	0,031	2,83
	>0,111	0,063	3,12
Центробежный с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0–0,056	0,080	–0,75
	0,056–0,139	0,090	7,78
	0,139–0,427	0,018	49,0
	> 0,427	0,015	191
Осевой с электродвигателем постоянного и переменного тока частотой 400 Гц	0–0,111	0,035	0,08
	>0,111	0,020	4,23
Осевой с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0–0,278	0,102	–0,15
	>0,278	0,054	–11,6

б) по графику черт.3 в зависимости от величины N.



Черт.3

2. Определение усредненных характеристик насосов с электродвигателями постоянного и переменного тока частотой 400 Гц

2.1. Мощность N, *Вт*, потребляемая насосом, определяется:

а) по формуле

$$N = 2{,}94\, W \cdot H + 144, \qquad (4)$$

где W – производительность насоса, $\frac{м^3}{сек}$;

H – напор, развиваемый насосом, $\frac{Н}{м^2}$;

б) по графику черт.4.

2.2. Масса насоса M, *кг*, определяется:

а) по формуле

$$M = 0{,}0076\, N + 2{,}89; \qquad (5)$$

б) по графику черт.5.

2.3. Объем насоса V, $м^3$, определяется:

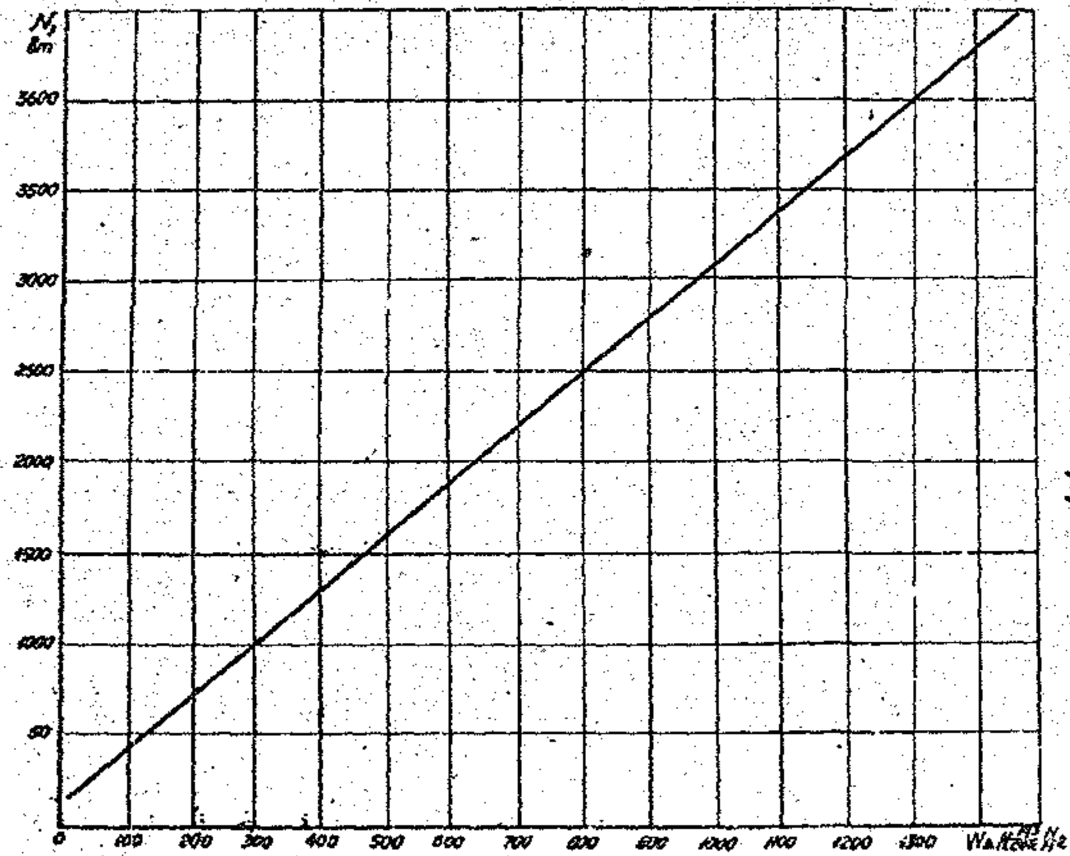
а) по формуле

$$V = (0{,}0011\, N + 1{,}2) \cdot 10^{-3}; \qquad (6)$$

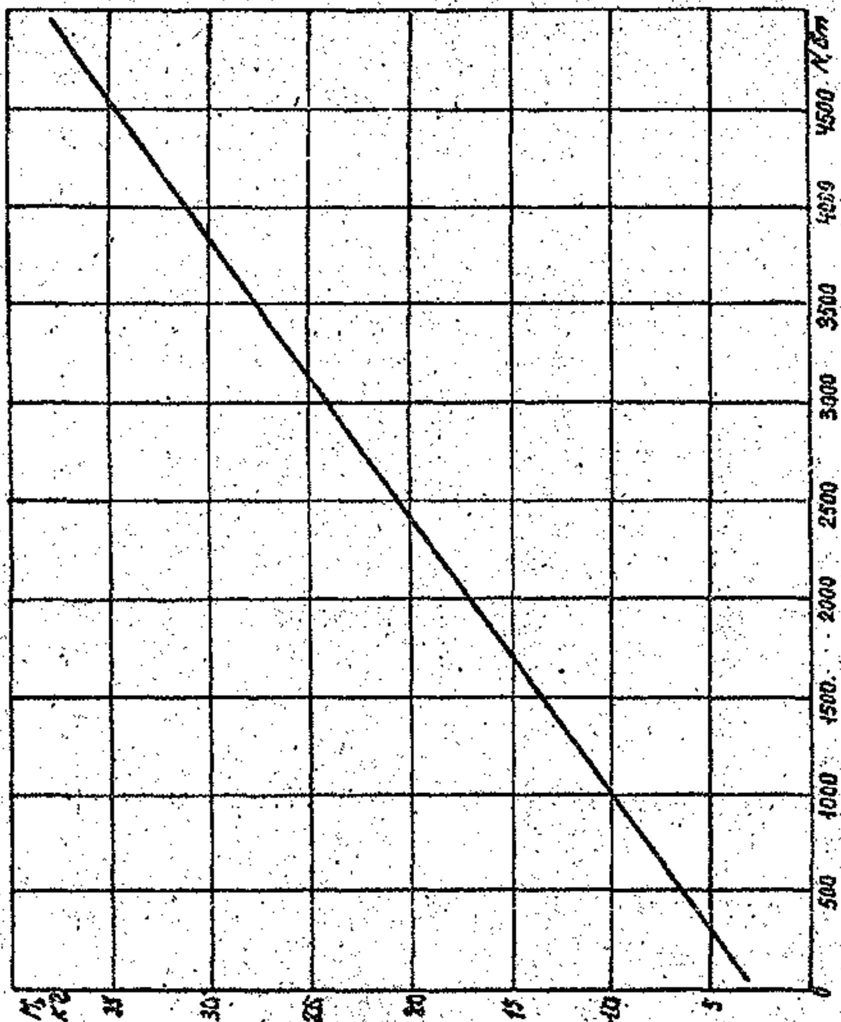
б) по графику черт.6.

3. Определение усредненных характеристик воздухоохладителей, работающих при стандартных условиях:

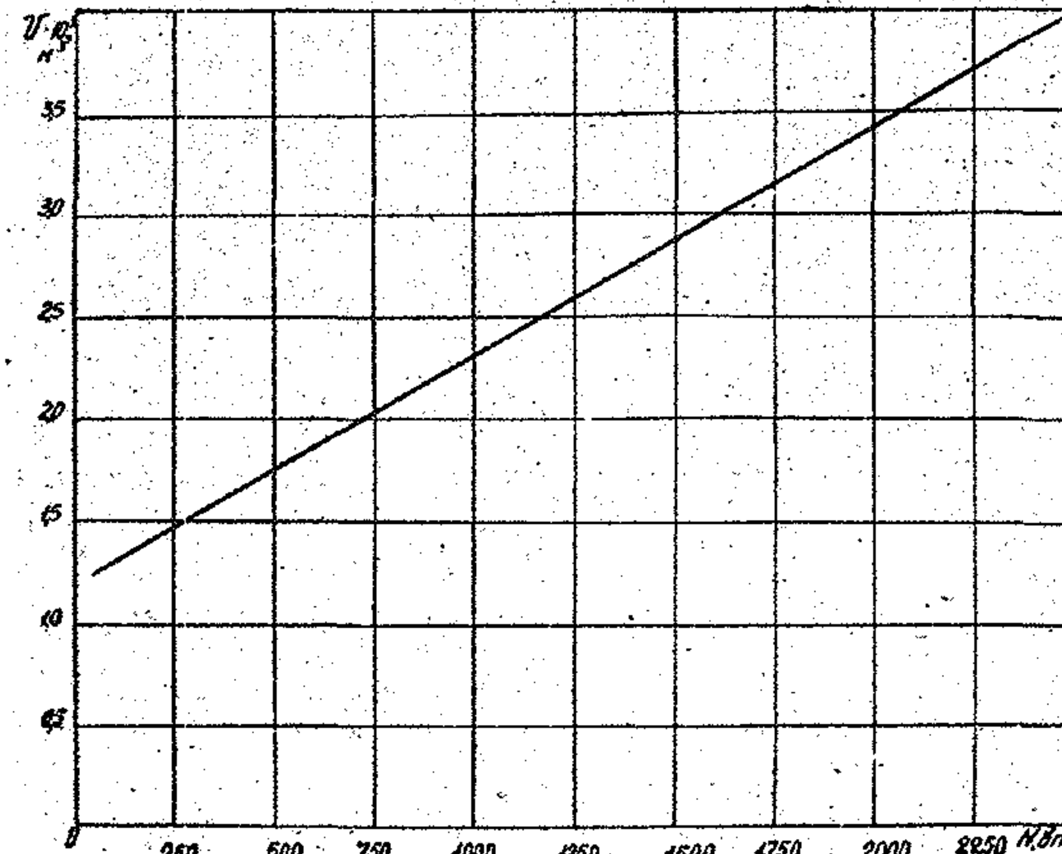
- температура кипения хладоносителя $t_0 = 5°C$;
- температура окружающей среды $t_{oc} = 35°C$.


3600
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300

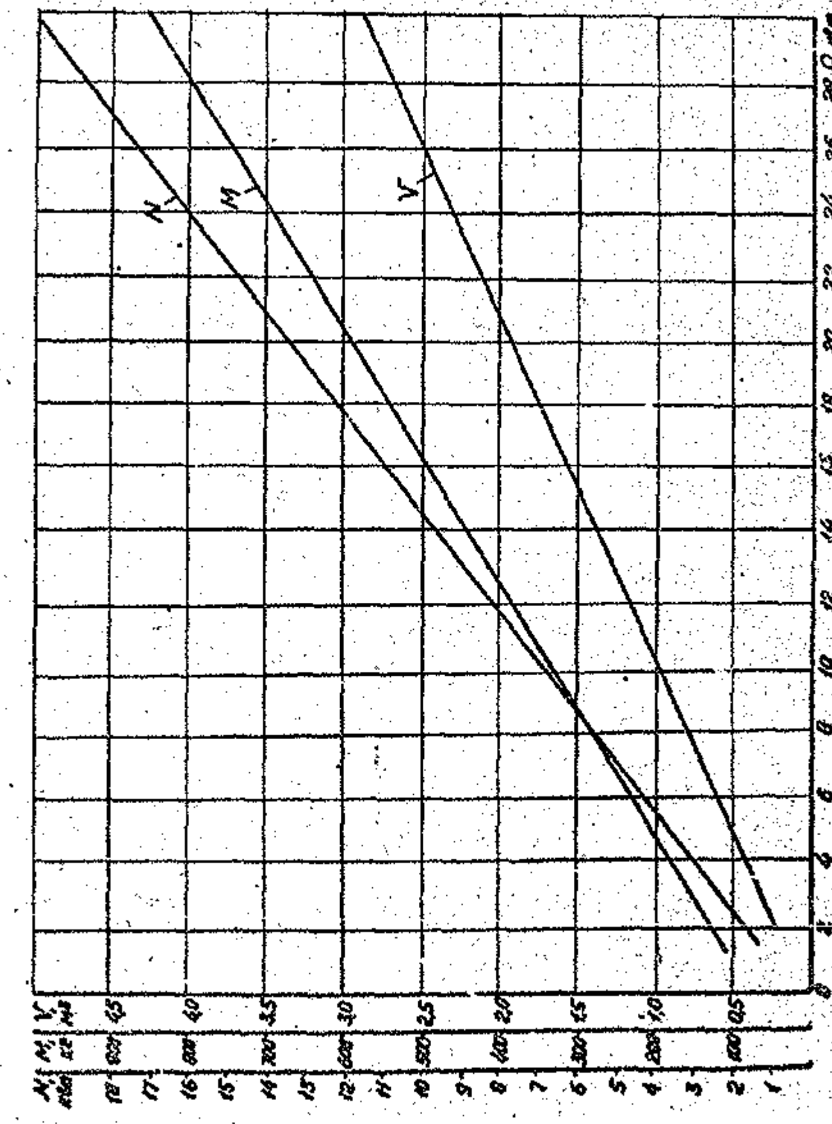
Черт.4



Черт.5


V·10
35
30
25
20
15
10
0
250
500
750
1000
1250
1500
1750
2000
2250
N,Вт

Черт.8



Черт.7

3.1. Мощность N, $вт$, потребляемая воздухоохладителем, определяется:

а) по формуле

$$N = 0{,}655 Q_o + 380; \qquad (7)$$

б) по графику черт.7.

3.2. Масса воздухоохладителя M, кг, определяется:

а) по формуле

$$M = 0{,}026 Q_o + 85{,}8; \qquad (8)$$

б) по графику черт.7.

3.3. Объем воздухоохладителя V, $м^3$, определяется:

а) по формуле

$$V = (0{,}094 Q_o + 42) \cdot 10^{-3}; \qquad (9)$$

б) по графику черт.7.

4. Определение усредненных характеристик воздухоохладителей, работающих при нестандартных условиях:

- температура кипения хладоносителя $t_o = 5°C$;
- температура окружающей среды $t_{oc} = 50°C$.

4.1. Мощность, потребляемая воздухоохладителем N, $вт$, определяется:

а) по формуле

$$N = 0{,}915 Q_o + 380; \qquad (10)$$

б) по графику черт.8.

4.2. Масса воздухоохладителя M, кг, определяется:

а) по формуле

$$M = 0{,}036 Q_o + 85{,}8; \qquad (11)$$

б) по графику черт.8.

4.3. Объем воздухоохладителя V, $м^3$, определяется:

а) по формуле

$$V = (0{,}132 Q_o + 42) \cdot 10^{-3}; \qquad (12)$$

б) по графику черт.8.

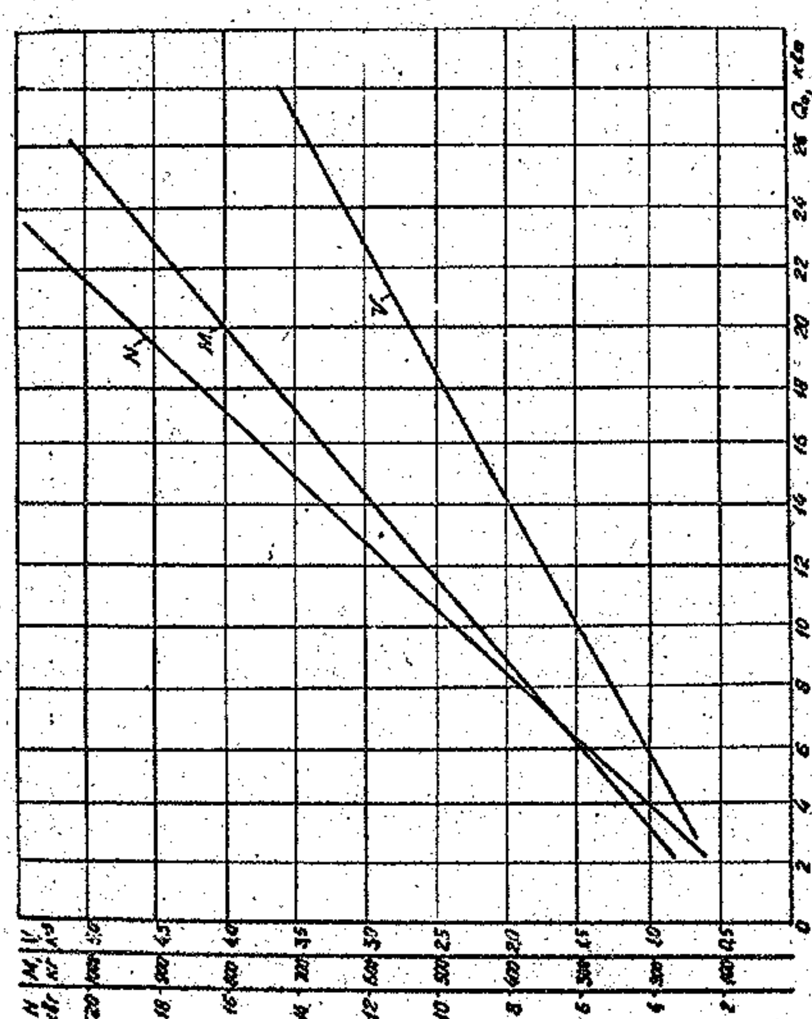
В формулах (7 - 12) Q_o, вт - холодопроизводительность.

5. Определение усредненных характеристик воздушных фильтров

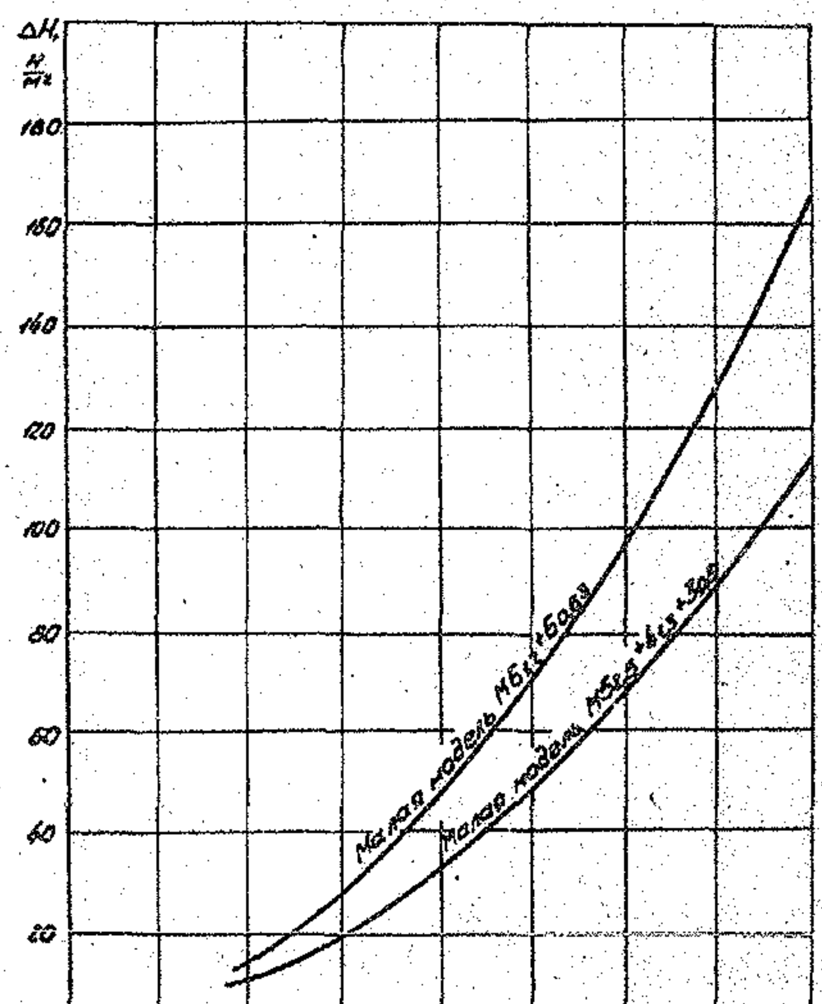
5.1. Определение усредненных характеристик масляных фильтров системы Е.В.Рекка:

а) основные технические данные приведены в табл.4;

б) аэродинамические характеристики приведены на графике черт.9.



Черт.8

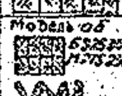


М – сокращенное наименование малой модели фильтра;

$М6_{1,2}+6_{0,68}$ – большие цифры, следующие за условным наименованием моделей, характеризуют числа однородных сеток, составляющих пакет, а индексы обозначают размер стороны квадратного отверстия в мм.

Черт.9

Таблица 4

Индекс фильтра	Способ монтажа	Число ячеек, шт	Рекомендуемые производительности по воздуху, $м^3/ч$	Аэродин. сопротив. ΔН, $\frac{Н}{м^2}$ (в чистом)	Объем ячейки, $м^3$	Объем V фильтра, $м^3$	Масса М ячейки, кг	Масса М фильтра в сборе, кг
ВФ-1М ВФ-1Б		1	0,31 - 0,61	29-98	0,013 0,026	0,0159 0,0324	9,35 14,35	19,22 26,07
ВФ-2М ВФ-2Б		2	0,61 - 1,22	29-98	0,013 0,026	0,0376 0,0646	9,35 14,35	33,44 45,84
ВФ-3М ВФ-3Б		3	0,92 - 1,83	29-98	0,013 0,025	0,0567 0,0472	9,35 14,35	47,47 65,53
ВФ-4М ВФ-4Б		4	1,22 - 2,44	29-98	0,013 0,026	0,0756 0,129	9,35 14,35	61,64 85,20
ВФ-6М ВФ-6Б		6	1,83 - 3,66	29-98	0,013 0,026	0,113 0,194	9,35 14,35	81,48 114,42
ВФ-8М ВФ-8Б		8	2,44 - 4,88	29-98	0,013 0,026	0,151 0,259	9,35 14,35	105,64 148,28
ВФ-9М ВФ-9Б		9	2,79 - 5,58	29-98	0,013 0,026	0,170 0,297	9,35 14,35	115,64 162,76
ВФ-12М ВФ-12Б		12	3,66 - 7,34	29-98	0,013 0,025	0,227 0,390	9,35 14,35	149,56 211,30
ВФ-16М ВФ-16Б		16	4,88 - 9,77	29-98	0,013 0,026	0,302 0,520	9,35 14,35	173,13 278,20
ВФ-20М ВФ-20Б		20	6,10 - 12,20	29-98	0,013 0,026	0,378 0,648	9,35 14,35	243,31 345,16
ЗФ-8М ЗФ-8Б		8	2,44 - 4,88	29-98	0,013 0,026	0,710 0,845	9,35 14,35	74,93 137,42
ЗФ-12М ЗФ-12Б		12	3,66 - 7,34	29-98	0,013 0,026	1,06 1,26	9,35 14,35	142,6[illegible] 205,96
ЗФ-16М ЗФ-16Б		16	4,88 - 9,77	29-98	0,013 0,026	1,42 1,69	9,35 14,35	189,95 274,92
ЗФ-18М ЗФ-18Б		18	5,00 - 11,00	29-98	0,013 0,026	1,59 1,9	9,35 14,35	213,07 307,89
ЗФ-24М ЗФ-24Б		24	7,34 - 14,65	29-98	0,013 0,026	2,12 2,54	9,35 14,35	284,01 411,16

Примечания:

1. Аэродинамическое сопротивление ячейки фильтра в запыленном состоянии увеличивается в 2 раза
2. Расход масла на 1 ячейку: М-120-200г, Б-250-350г.
3. Эффективность очистки воздуха 97-98%
4. Зарядку ячеек необходимо производить через 35-40 часов работы.

Обозначения:

ВФ - фильтр вертикального монтажа

ЗФ - фильтр зигзагообразного монтажа

М - малая модель фильтра (предназначена для очистки воздуха, содержащего не более 5мг пыли на 1м³ возд.)

Б - большая модель фильтра (предназначена для очистки воздуха, содержащего не более 20мг пыли на 1м³ воздуха)

5.2. Определение усредненных характеристик ячейковых унифицированных фильтров типа ФяП с пенополиуретановым заполнителем:

а) основные технические данные:

- начальная запыленность, $\frac{мг}{м^3}$ 5-10;

- пропускная способность, $\frac{м^3}{сек}$, при удельной воздушной нагрузке 1,95 $\frac{м^3}{сек \cdot м^2}$ 0,43;

- начальное аэродинамическое сопротивление, $\frac{н}{м^2}$ 59,0;

- пылеемкость, $\frac{г}{м^2}$, при увеличении аэродинамического сопротивления от 59 до 118 $\frac{н}{м^2}$ 200;

- масса, кг 3;

- площадь рабочего сечения, $м^2$ 0,22;

б) аэродинамическая характеристика приведена на графике черт.10.

5.3. Определение усредненных характеристик ячейковых унифицированных фильтров типа ФяВ с винипластовым заполнителем:

а) основные технические данные:

- начальная запыленность, $\frac{мг}{м^3}$ 5-10;

- пропускная способность, $\frac{м^3}{сек}$, при удельной воздушной нагрузке 1,95 $\frac{м^3}{сек \cdot м^2}$ 0,43;

- начальное аэродинамическое сопротивление, $\frac{н}{м^2}$ 49,0;

- пылеемкость, $\frac{г}{м^2}$, при увеличении аэродинамического сопротивления от 49 до 98 $\frac{н}{м^2}$ 200;

- масса, кг 4;

- площадь рабочего сечения, $м^2$ 0,22;

б) аэродинамическая характеристика приведена на графике черт.11.

На графиках черт.9-11 W - величина объемного расхода воздуха, приходящегося на одну ячейку фильтра.

6. Определение усредненных характеристик теплообменников

6.1. Масса теплообменников общего типа, кг, определяется при помощи кривой 1 графика черт.12.

6.2. Объем теплообменников общего типа, $м^3$, определяется при помощи кривой 2 графика черт.12.

6.3. Масса компактных теплообменников, кг, определяется при помощи кривой 3 графика черт.12.

7. Определение усредненных характеристик воздуховодов

7.1. Удельная масса воздуховодов $\frac{M}{Q}$, $\frac{кг}{кВт}$, определяется по графику черт.13.

Рекомендуемая вероятностная оценка:

а) для стационарной РЭА $P \geqslant 0{,}7$;

б) для передвижной РЭА $0{,}5 \leqslant P < 0{,}7$;

в) для бортовой РЭА $0{,}3 \leqslant P < 0{,}5$.

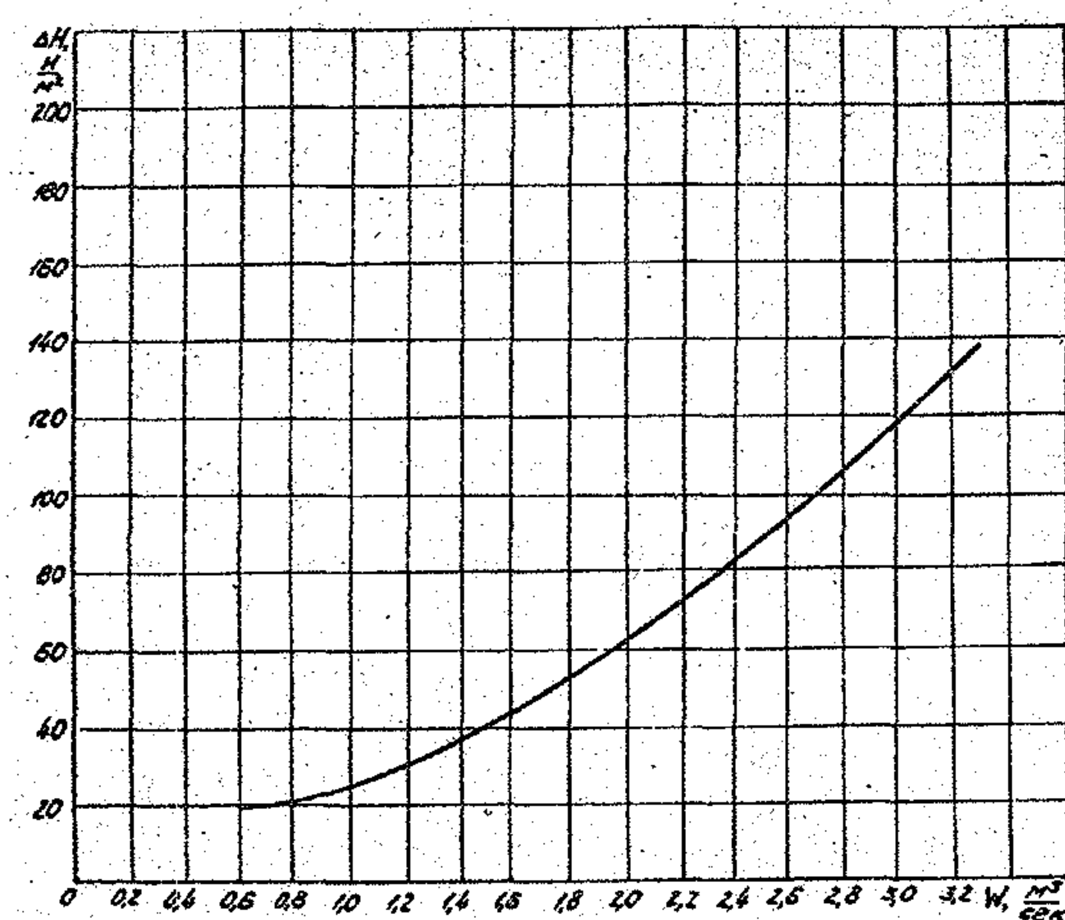
7.2. Удельный объем воздуховодов $\frac{V}{Q}$, $\frac{м^3}{кВт}$, определяется по графику черт.14.

Рекомендуемая вероятностная оценка:

а) для стационарной РЭА $P \geqslant 0{,}7$;

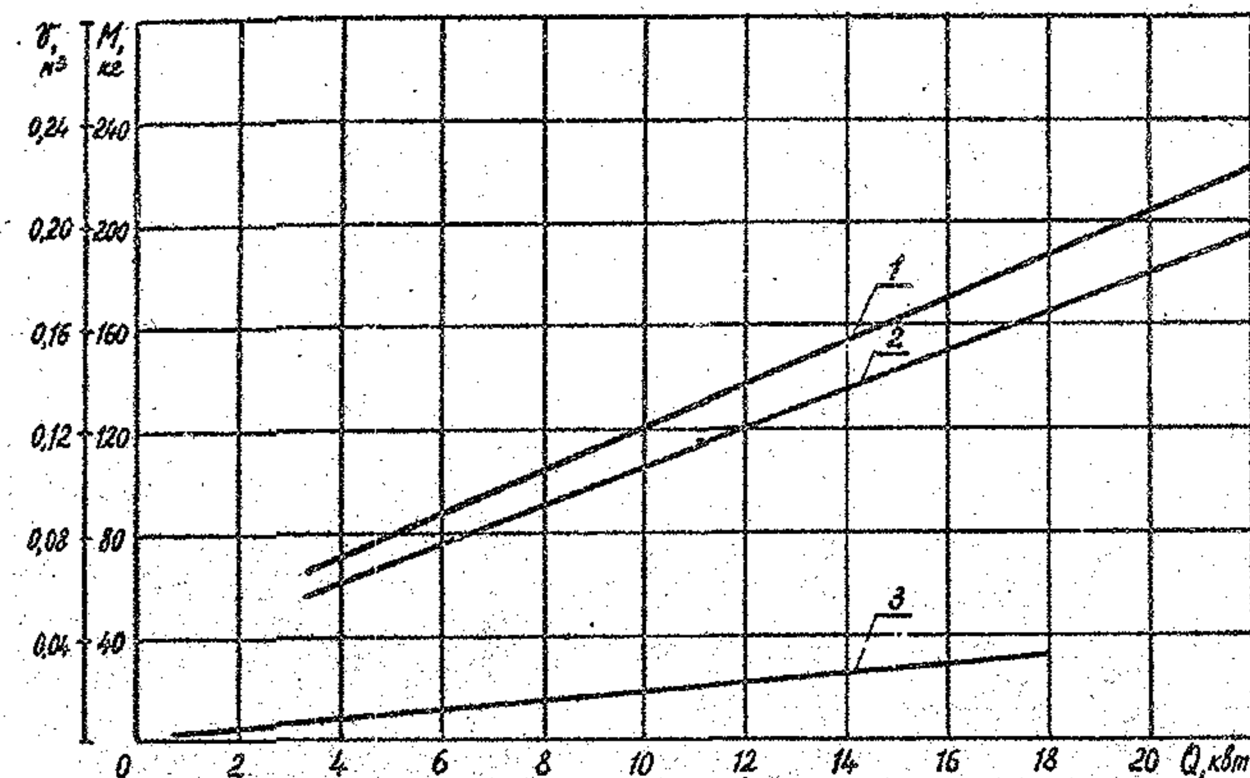
б) для передвижной РЭА $0{,}5 \leqslant P < 0{,}7$;

в) для бортовой РЭА $0{,}3 \leqslant P < 0{,}5$.



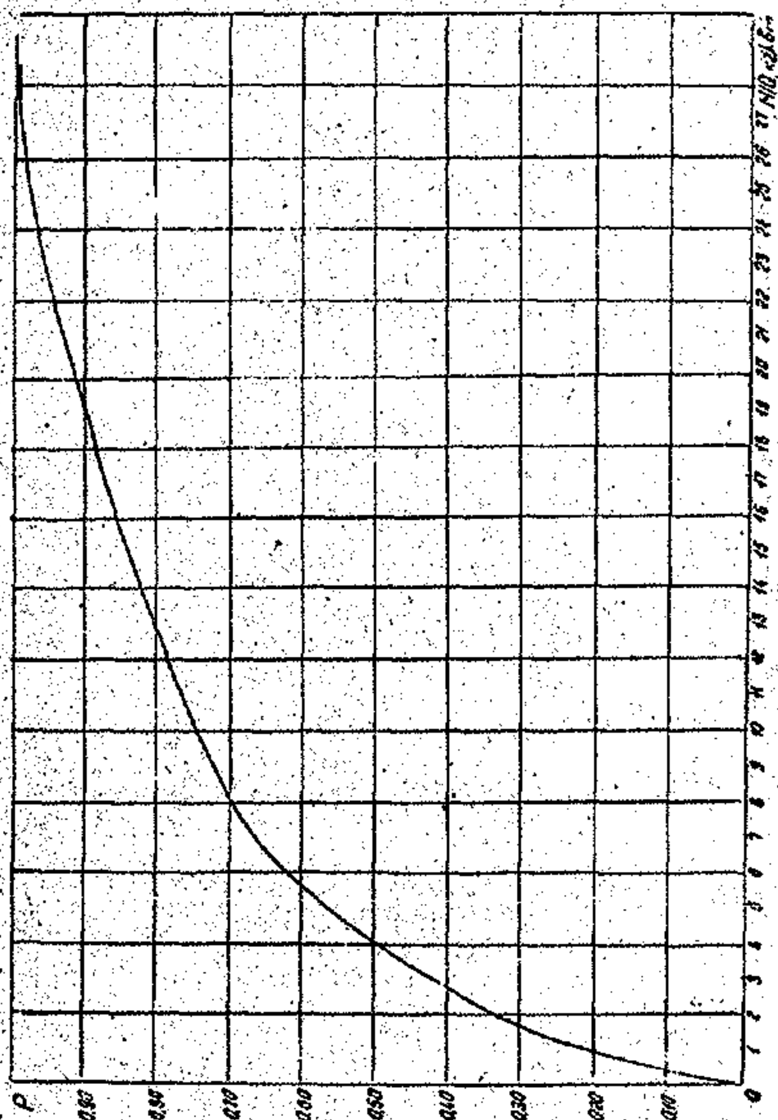
ΔH, Н/м²
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
1,6
1,8
2,0
2,2
2,4
2,6
2,8
3,0
3,2
W, м³/сек

Черт.13



1 – объем теплообменников общего типа;
2 – масса теплообменников общего типа;
3 – масса компактных теплообменников

Черт.12



Черт.13

в) при помощи графика черт.1 при данных значениях q_1 и $\Delta t_{доп}$ определяем, что и при данном атмосферном давлении возможно применение как естественного, так и принудительного воздушного охлаждения;

г) при помощи графика черт.4 определяем, что для естественного воздушного охлаждения блока с перфорированным кожухом вероятность обеспечения нормального теплового режима $P = 0{,}18$;

д) поскольку полученное в предыдущем пункте значение меньше рекомендуемого в п.2.2.2, выбираем принудительный воздушный способ охлаждения.

4. Обеспечение нормального теплового режима индивидуального элемента

4.1. Исходные данные:

а) рассеиваемая мощность $Q = 5 \cdot 10^3$ вт;

б) удельная мощность нагретой зоны $q = 3 \cdot 10^4 \frac{вт}{м^2}$;

в) допустимая температура нагретой зоны $t_{доп} = 150°C$;

г) диапазон изменения температуры окружающей среды от минус 60 до плюс 50°С;

д) максимально допустимая величина гидравлического сопротивления РЭА $\Delta H_{доп} = 10^6 \frac{н}{м^2}$;

е) требования к теплоносителю:

– удельное объемное сопротивление $\rho_v \geq 5 \cdot 10^{-4} \frac{ом}{см}$;

– тангенс угла диэлектрических потерь $tg\,\delta \leq 4 \cdot 10^{-3}$.

4.2. Выбор способа охлаждения:

а) определяем величину допустимого перегрева нагретой зоны.

$$\Delta t_{доп} = 150 - 50 = 100°C;$$

б) при помощи графика черт.1 (верхняя часть) при заданных значениях q и $\Delta t_{доп}$ определяем, что в данном случае целесообразно применение принудительного жидкостного способа охлаждения.


P
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0,002
0,004
0,006
0,008
0,010
0,020
0,040
0,060
0,080
0,100
0,120

Черт.14

Рекомендуемое приложение 3 к ОСТ4 Г0.070.003

ПРИМЕРЫ ВЫБОРА СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

1. Обеспечение нормального теплового режима блока РЭА

1.1. Исходные данные:

а) рассеиваемая мощность $Q = 0{,}5$ квт;

б) допустимый перегрев нагретой зоны $\Delta t_{доп} = 30°C$;

в) удельная мощность нагретой зоны $q = 400 \frac{вт}{м^2}$.

1.2. Выбор способа охлаждения:

а) при помощи графика черт.1 по заданным значениям q и $\Delta t_{доп}$ определяем, что возможно применение как естественного, так и принудительного воздушного охлаждения;

б) при помощи графиков черт.2–4 определяем, что нормальный тепловой режим блоков обеспечивается:

– для блока в герметичном кожухе без внутреннего перемешивания – с вероятностью $P = 0{,}18$;

– для блока в перфорированном кожухе – с вероятностью

$$P = 0{,}28.$$

Поскольку полученные значения P меньше рекомендуемых в п.2.1.2, выбираем принудительное воздушное охлаждение.

1.3. При помощи графика черт.5 с вероятностью $P = 0{,}6$ определяем величину удельного массового расхода воздуха и полного расхода:

$$\frac{G}{Q} = 0{,}067 \frac{кг}{сек \cdot квт}; \quad G = 0{,}067 \cdot 0{,}5 = 0{,}0335 \frac{кг}{сек}.$$

1.4. Определяем основные технические характеристики системы охлаждения при помощи графиков черт.7, 8, 9 с вероятностью $P = 0{,}4$ (для системы без "приготовления" холодного воздуха), определяем массу, потребляемую мощность и объем системы охлаждения:

$$M = 5{,}5\ кг; \quad N = 75\ Вт; \quad V = 10 \cdot 10^{-3}\ м^3.$$

1.5. Выбираем схему системы охлаждения – приточно-вытяжную принудительную вентиляцию блока при помощи двух вентиляторов, вмонтированных в боковые стенки блока.

1.6. Уточняем технические характеристики системы охлаждения:

а) при помощи графика черт.6 с вероятностью $P = 0{,}65$ определяем аэродинамическое сопротивление блока

$$\Delta H = 150\ \frac{Н}{м^2};$$

б) поскольку ΔH невелико, выбираем осевые вентиляторы с электродвигателями переменного тока частотой 50 Гц;

в) для каждого вентилятора определяем величину

$$W_H = \frac{G \cdot H}{\rho_{возд} \cdot 2} = \frac{0{,}0335 \cdot 150}{1{,}2 \cdot 2} = 2{,}1\ \frac{Н \cdot м}{сек};$$

г) при помощи графиков черт.1, 2, 3 (рекомендуемое приложение 2) определяем потребляемую мощность, массу и объем вентиляторов:

$$N = 80{,}7\ вт;\quad M = 5{,}88\ кг;\quad V = 5{,}12\cdot 10^{-3}\ м^3.$$

2. Обеспечение нормального теплового режима комплекса РЭА, состоящего из четырех одинаковых шкафов, соединенных параллельно по ходу воздуха:

$$Q = 10\ квт;\quad \Delta t_{доп} = 30°C;\quad q = 1140\ \frac{вт}{м^2}.$$

Система охлаждения - воздушная, приточно-вытяжная. Нагретый воздух, охладивший шкафы, подается в воздуховод и далее на масляный фильтр модели Е.В.Рекка и в теплообменник, после чего приточным вентилятором охлажденный воздух вновь подается в шкафы.

2.1. По диаграмме черт.5 с вероятностью $P = 0{,}7$ определяется требуемый для обеспечения нормального теплового режима шкафа удельный расход воздуха:

$$\frac{G}{Q} = 0{,}161\ \frac{кг}{сек\cdot квт}.$$

Общий расход воздуха отсюда равен $G = 1{,}61\ \frac{кг}{сек}$.

2.2. По графику черт.6 определяется аэродинамическое сопротивление системы охлаждения:

$$\Delta H = 850\ \frac{н}{м^2}.$$

2.3. Рассчитывается произведение производительности на напор одного вентилятора:

$$WH = \frac{G\cdot\Delta H}{\rho_{возд}\cdot 2} = 557\ \frac{нм}{сек}.$$

2.4. Определяются технические характеристики (потребляемая мощность, масса, объем) центробежного вен-

тилятора с электродвигателем на 50 Гц соответственно по графикам черт.1–3 рекомендуемого приложения 2:

$$N_1 = 1{,}05\ кВт;\quad M_1 = 14\ кГ;\quad V_1 = 0{,}015\ м^3.$$

2.5. По графику черт.12 рекомендуемого приложения 2 определяются масса и объем теплообменника:

$$M_2 = 105\ кГ;\quad V_2 = 0{,}12\ м^3.$$

2.6. Определяются масса и объем воздуховодов соответственно по графикам черт.13, 14 рекомендуемого приложения 2 с вероятностью $P = 0{,}8$:

$$M_3 = 130\ кГ;\quad V_3 = 0{,}4\ м^3.$$

2.7. По табл.4 определяются характеристики фильтра

$$M_4 = 61{,}6\ кГ;\quad V_4 = 0{,}075\ м^3.$$

2.8. Определяются характеристики системы охлаждения.

Потребляемая мощность, масса и объем всей системы охлаждения складываются из мощности, массы и объема элементов, входящих в нее:

$$N = 2{,}1\ кВт;\quad M = 324{,}6\ кГ;\quad V = 0{,}625\ м^3.$$

3. Обеспечение нормального теплового режима блока РЭА, находящегося в условиях пониженного давления

3.1. Исходные данные:

а) удельная мощность нагретой зоны

$$q = 250\ \frac{Вт}{м^2};$$

б) допустимый перегрев нагретой зоны

$$\Delta t_{доп} = 30°C;$$

в) давление окружающей среды

$$H_1 = 20 \text{ мм рт. ст.}$$

3.2. Выбор способа охлаждения:

а) при помощи графика черт.1 по заданным значениям q и $\Delta t_{доп}$ определяем, что при нормальном атмосферном давлении возможно применение как естественного, так и принудительного воздушного охлаждения;

б) при помощи графиков черт.2-4 определяем, что нормальный тепловой режим блока для естественного воздушного охлаждения обеспечивается:

- для блока в герметичном корпусе без внутреннего перемешивания - с вероятностью $P = 0,45$;
- для блока с перфорированным кожухом - с вероятностью $P = 0,60$;

в) *поскольку вероятность обеспечения нормального* теплового режима блока при естественном воздушном охлаждении с перфорированным кожухом достаточно высока, выбираем этот способ охлаждения.

3.3. Выбираем окончательно способ охлаждения блока при пониженном атмосферном давлении:

а) предварительно для выбранного в п.3.2 способа охлаждения по табл.3 определяем значение эмпирического коэффициента η, соответствующего пониженному давлению 20 мм рт.ст.:

$$\eta = 2,02;$$

б) определяем эквивалентное значение удельной мощности нагретой зоны:

$$q_1 = q \cdot \eta = 505 \frac{Вт}{м^2};$$

4.3. Выбор теплоносителя

С учетом оговоренных в исходных данных ограничений по диэлектрическим свойствам и по значениям $t_{нк}$ (см. п.4.2.2) выбираем в качестве теплоносителя жидкость ПМС-10, имеющую порядковый номер 9 в табл.6.

4.4. Определение усредненного значения массы системы охлаждения:

а) при помощи табл.7 находим, что для определения величины удельной массы системы охлаждения при данном значении $H_{доп}$ необходимо воспользоваться графиком черт.18;

б) при помощи черт.18 при данной величине $\Delta t_{доп}$ определяем минимальное и максимальное значения удельной массы системы охлаждения:

$$\left(\frac{M}{Q}\right)_{min} = 7\,\frac{кг}{кВт}; \quad \left(\frac{M}{Q}\right)_{max} = 15\,\frac{кг}{кВт};$$

в) определяем рекомендуемое усредненное значение массы системы охлаждения:

$$M_p = \frac{7 \cdot 5 + 15 \cdot 5}{2} = 55{,}0\ кг.$$

4.5. Определение усредненного значения мощности, потребляемой системой охлаждения:

а) при помощи табл.8 находим, что для определения величины удельной мощности, потребляемой системой охлаждения, необходимо воспользоваться графиком черт.30;

б) при помощи черт.30 при данной величине $\Delta t_{доп}$ определяем минимальное и максимальное значения удельной мощности, потребляемой системой охлаждения:

$$\left(\frac{N}{Q}\right)_{min} = 0{,}25\,\frac{кВт}{кВт}; \quad \left(\frac{N}{Q}\right)_{max} = 0{,}75\,\frac{кВт}{кВт};$$

в) определяем рекомендуемое значение мощности, потребляемой системой охлаждения:

$$N_p = \frac{0,25 \cdot 5 + 0,75 \cdot 5}{2} = 2,5 \text{ квт}.$$

5. Определение характеристик естественной испарительной системы охлаждения большого элемента, установленного в стационарной системе

5.1. Исходные данные:

а) рассеиваемая мощность $Q = 10^4$ вт;

б) удельная мощность нагретой зоны $q = 5 \cdot 10^5 \frac{вт}{м^2}$;

в) допустимая температура нагретой зоны $t_{доп} = 120°C$;

г) температура окружающей среды $t_{ос}$ от минус 60 до плюс 50°С;

д) максимально допустимая величина давления в системе

$$H_{доп} = 5 \cdot 10^5 \frac{н}{м^2}.$$

5.2. Выбор теплоносителя:

а) определяем величину $q' = 0,8q = 4 \cdot 10^5 \frac{вт}{м^2}$;

б) откладываем полученное значение q' на оси q квадранта A, черт.35, и проводим из полученной точки прямую, параллельную оси t этого квадранта;

в) откладываем значения $t_{доп}$ и $t_{ос\,max}$ на оси t квадранта A, черт.35, и проводим из полученных точек прямые, параллельные оси q этого квадранта;

г) в зоне, ограниченной проведенными прямыми, находящейся выше линии $q' = const$, расположены кривые 1–4, 6, 10, 11;

д) откладываем величину $H_{доп} = 5 \cdot 10^5 \frac{Н}{м^2}$ на оси H квадранта D (черт.35) и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси t_H этого квадранта;

е) откладываем величину $t_{доп}$ на оси t_H квадранта D (черт.35) и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси H этого квадранта;

ж) в зоне, ограниченной проведенными прямыми и осями H и t_H квадранта D, черт.35, находятся кривые, соответствующие веществам 1,3,7–13;

з) с учетом полученных в подпунктах г) и ж) списков отбираем вещества (1,3,10,11), попавшие в оба списка;

и) с учетом ограничений по минимальной температуре в системе (минус 60°С) принимаем окончательно в качестве теплоносителя вещество № 3 в табл.9 – этиловый спирт.

5.3. Определение усредненного веса системы охлаждения:

а) откладываем значение $q = 5 \cdot 10^5 \frac{Вт}{м^2}$ на оси q квадранта B (черт.35) и определяем величину $\Delta t_1 = 35\,°C$;

б) откладываем полученное значение $\Delta t_1 = 35\,°C$ на оси Δt квадранта C, проводим построение согласно пп. 5.3.3–5.3.7 и в результате определяем значение Δt_2 = 33°С:

в) проверяем выполнение условия п.5.3.8

$$|\Delta t_2 - \Delta t_1| = 2\,°C < 5\,°C;$$

условие выполняется, и окончательно определяем величину

$$\Delta t = \Delta t_2 = 33°C;$$

г) откладываем полученное значение $\Delta t = 33°C$ на оси Δt квадранта B, проводим построения согласно пп.5.3.10, 5.3.11 и получим значение $q_{эф} = 1{,}5 \cdot 10^5 \frac{Вт}{м^2}$;

д) определяем значение допустимого перегрева нагретой зоны:

$$\Delta t_{доп} = 120 - 50 = 70°C;$$

е) откладываем значение $\Delta t_{доп} = 70°C$ на оси Δt графика черт.38, проводим построение согласно пп.5.3.14, 5.3.15 и определяем рекомендуемое значение удельной массы системы охлаждения:

$$\left(\frac{M}{Q}\right)_p = 6{,}5 \ \frac{кг}{кВт};$$

ж) определяем рекомендуемое значение массы системы охлаждения:

$$M_p = 6{,}5 \cdot 10 = 65 \ кг.$$

6. Определение характеристик принудительной испарительной системы охлаждения большого элемента

6.1. Исходные данные:

а) рассеиваемая мощность $Q = 10^4$ вт;

б) удельная мощность, рассеиваемая нагретой зоной, $q = 5 \cdot 10^6 \frac{вт}{м^2}$;

в) допустимая температура нагретой зоны $t_{доп} = 130\,°C$;

г) температура окружающей среды $t\,°C$ от минус 60 до плюс 50°С.

6.2. При выборе теплоносителя с учетом требований, изложенных в пп.6.2.1-6.2.4 данных табл.10 и приведенного значения минимальной температуры в системе (минус 60°С), выбираем в качестве теплоносителя вещество № 3 в табл.10 – этиловый спирт.

6.3. Определение усредненного значения массы системы охлаждения:

а) при помощи табл.11 находим, что при значении $q = 5 \cdot 10^6 \frac{вт}{м^2}$ для вещества № 3 величину удельной массы системы охлаждения следует определять по графику черт.49;

б) определяем величину допустимого перегрева нагретой зоны:

$$\Delta t_{доп} = 130 - 50 = 80\,°C;$$

в) при помощи графика черт.49 определяем минимальное и максимальное значения удельной массы системы охлаждения:

$$\left(\frac{M}{Q}\right)_{min} = 8{,}0\,\frac{кг}{квт}; \quad \left(\frac{M}{Q}\right)_{max} = 32{,}0\,\frac{кг}{квт};$$

г) определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения массы системы охлаждения:

$$M_{min} = 8 \cdot 10 = 80 \text{ кг}; \quad M_{max} = 32 \cdot 10 = 320 \text{ кг};$$

$$M_p = \frac{80 + 320}{2} = 200 \text{ кг}.$$

6.4. Определение мощности, потребляемой системой охлаждения:

а) при помощи табл.12 находим, что при значении $q = 5 \cdot 10^6 \frac{вт}{м^2}$ для вещества № 3 величину удельной мощности, потребляемой системой охлаждения, следует определять по графику черт.61;

б) при помощи графика черт.61 определяем при данном значении $\Delta t_{доп.} = 80^\circ C$ минимальное и максимальное значения удельной мощности, потребляемой системой охлаждения:

$$\left(\frac{N}{Q}\right)_{min} = 0{,}18 \frac{квт}{квт}; \quad \left(\frac{N}{Q}\right)_{max} = 0{,}7 \frac{квт}{квт};$$

в) определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения мощности, потребляемой системой охлаждения:

$$N_{min} = 0{,}18 \cdot 10 = 1{,}8 \text{ квт};$$

$$N_{max} = 0{,}7 \cdot 10 = 7{,}0 \text{ квт};$$

$$N_p = \frac{1{,}8 + 7{,}0}{2} = 4{,}4 \text{ квт}.$$

СОДЕРЖАНИЕ

1. Определение области применения различных способов охлаждения 1 1

2. Естественное воздушное охлаждение 3 3

3. Принудительное воздушное охлаждение 13 7

4. Принудительное жидкостное охлаждение . . . 20 14

5. Естественное испарительное охлаждение . . . 40 33

6. Принудительное испарительное охлаждение . . 53 44

Приложение 1. Основные понятия и определения 74 64

Рекомендуемые приложения: 2. Определение усредненных технических характеристик элементов систем охлаждения 79 69

3. Примеры выбора способа охлаждения и определения основных технических характеристик систем охлаждения 103 91

Лист регистрации изменений

Изм.	Стр. (листы)	Номер извещения	Подпись	Дата	Изм.	Стр. (листы)	Номер извещения	Подпись	Дата